

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

N°

THÈSE

Année 1907

POUR LE

DOCTORAT EN MÉDECINE

*Présentée et soutenue le 17 juillet 1907*

Par M. Raymond Brillouët

Ancien interne des hôpitaux de Nantes

Ancien aide d'Anatomie et de Physiologie

Lauréat (*ter*) de l'Ecole de médecine de Nantes

Né à Nantes, le 7 octobre 1882

ÉTUDE PHYSIQUE ET THÉRAPEUTIQUE

DES IONS

ET

PARTICULIÈREMENT DE L'ION IODE

*Président:* M. GARIEL, Professeur.

{ M. GAUTIER, Professeur.

*Juges :* { M. POUCHET, Professeur.

{ M. André BROCA, Professeur agrégé.

PARIS

LIBRAIRIE J.-B. BAILLIÈRE ET FILS

19, rue Hautefeuille, près le Boulevard Saint-Germain

1907





Digitized by the Internet Archive  
in 2026



ÉTUDE PHYSIQUE ET THÉRAPEUTIQUE  
DES IONS  
ET PARTICULIÈREMENT DE L'ION IODE

# UNIVERSITÉ DE PARIS, FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

**Doyen**..... M. DEBOVE.  
**Professeurs honoraires**..... MM. DUPLAY, FARABEUF,  
FOURNIER, JACCOUD,

|                                                                       |                                              |
|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| <b>Professeurs</b> .....                                              | MM.                                          |
| Anatomie.....                                                         | N.                                           |
| Physiologie.....                                                      | Ch. RICHET.                                  |
| Physique médicale.....                                                | GARIEL.                                      |
| Chimie organique et chimie minérale.....                              | GAUTIER.                                     |
| Histoire naturelle médicale.....                                      | BLANCHARD.                                   |
| Pathologie et thérapeutique générales.....                            | BOUCHARD.                                    |
| Pathologie médicale.....                                              | { N.<br>BRISSAUD.                            |
| Pathologie chirurgicale.....                                          | LANNELONGUE.                                 |
| Anatomie pathologique.....                                            | CORNIL.                                      |
| Histologie.....                                                       | N.                                           |
| Opérations et appareils.....                                          | N.                                           |
| Pharmacologie.....                                                    | POUCHET.                                     |
| Thérapeutique.....                                                    | GILBERT.                                     |
| Hygiène.....                                                          | CHANTEMESSE.                                 |
| Médecine légale.....                                                  | THOINOT.                                     |
| Histoire de la Médecine et de la Chirurgie.....                       | DEJERINE.                                    |
| Pathologie comparée et expérimentale.....                             | { ROGER<br>HAYEM.                            |
| Clinique médicale.....                                                | { DIEULAFOY.<br>DEBOVE.<br>LANDOUZY.         |
| Clinique des maladies des enfants.....                                | HUTINEL.                                     |
| Clinique des maladies syphilitiques.....                              | GAUCHER.                                     |
| Clinique de pathologie mentale et des maladies<br>de l'encéphale..... | JOFFROY.                                     |
| Clinique des maladies nerveuses.....                                  | RAYMOND.                                     |
| Clinique chirurgicale.....                                            | { LE DENTU.<br>BERGER.<br>RECLUS.<br>SEGOND. |
| Clinique ophtalmologique.....                                         | DE LAPERSONNE.                               |
| Clinique des voies urinaires.....                                     | ALBARRAN.                                    |
| Clinique d'accouchements.....                                         | { PINARD.<br>N.                              |
| Clinique gynécologique.....                                           | POZZI.                                       |
| Clinique de chirurgie infantile.....                                  | KIRMISSON.                                   |
| Clinique thérapeutique.....                                           | A. ROBIN.                                    |

## Agrégés en exercice.

| MM.           | MM.        | MM.        | MM.                                     |
|---------------|------------|------------|-----------------------------------------|
| AUVRAY.       | DESGREZ.   | LAUNOIS.   | POTOCKI.                                |
| BALTHAZARD    | DUPRE.     | LEGRY.     | PROUST.                                 |
| BEZANÇON.     | DUVAL.     | LEGUEU.    | RENON.                                  |
| BRANCA.       | FAURE.     | LEPAGE.    | RICHAUD.                                |
| BRINDEAU.     | GOSSET.    | MACAIGNE.  | RIEFFEL Chef des<br>travaux anatomiques |
| BROCA (André) | GOUGET.    | MAILLARD.  | TEISSIER.                               |
| CARNOT.       | GUIART.    | MARION.    | THIROLOIX.                              |
| CLAUDE.       | JEANSELME. | MAUCLAIRE. | VAQUEZ.                                 |
| GUNEO.        | LABBE.     | MERY.      | WALLICH.                                |
| DEMELIN.      | LANGLOIS.  | MORESTIN.  |                                         |

*Le Secrétaire de la Faculté : M. GRISEZ.*

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'école a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation, ni improbation.

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

N°

THÈSE

Année 1907

POUR LE

# DOCTORAT EN MÉDECINE

*Présentée et soutenue le 17 juillet 1907*

Par M. Raymond Brillouët

Ancien interne des hôpitaux de Nantes

Ancien aide d'Anatomie et de Physiologie

Lauréat (*ter*) de l'École de médecine de Nantes

Né à Nantes, le 7 octobre 1882

ÉTUDE PHYSIQUE ET THÉRAPEUTIQUE

## DES IONS

ET

PARTICULIÈREMENT DE L'ION IODE

*Président* : M. GARIEL, Professeur.

*Juges* : { M. GAUTIER, Professeur.

{ M. POUCHET, Professeur.

{ M. André BROCA, Professeur agrégé.

PARIS

LIBRAIRIE J.-B. BAILLIÈRE ET FILS

19, rue Hautefeuille, près le Boulevard Saint-Germain

1907



401



A MES PARENTS

A MES AMIS

*A mes Maîtres*

MESSIEURS LES PROFESSEURS  
DE L'ÉCOLE DE MÉDECINE DE NANTES

MESSIEURS LES MÉDECINS ET CHIRURGIENS  
DES HOSPICES CIVILS DE NANTES

*A mon cher Maître*

MONSIEUR LE PROFESSEUR S. LEDUC

Professeur à l'Ecole de Médecine de Nantes  
Vice-Président du Conseil d'hygiène de la Loire-Inférieure.

*A mon Président de Thèse*

MONSIEUR LE PROFESSEUR GARIEL

Professeur de Physique médicale à la Faculté de Médecine de Paris

Membre de l'Académie de Médecine

Commandeur de la Légion d'Honneur



ÉTUDE PHYSIQUE ET THÉRAPEUTIQUE  
DES IONS  
ET PARTICULIÈREMENT DE L'ION IODE

---

CHAPITRE PREMIER

**Théorie des Ions.**

Quand on dissout dans l'eau un sel, un acide ou une base, des molécules de ces corps se dissocient en deux parties appelées ions; l'une a une charge électrique positive, c'est le cation, l'autre une charge négative, c'est l'anion.

Par suite, une dissolution de chlorure de sodium contient trois sortes de particules : des molécules  $\text{NaCl}$  non dissociées et électriquement neutres, des anions  $\text{Cl}^-$  ayant une charge électrique négative, des cations  $\text{Na}^+$  ayant une charge électrique positive.

Les sels, les acides et les bases peuvent tous être

considérés comme des sels formés par l'union d'un métal ou radical métallique — (pour les acides H est le métal) — et d'un radical — (qui pour les bases est l'Hydroxyle OH). — Le métal deviendra toujours le cation par la dissolution, et l'acide l'anion.

Ainsi :

|                                                                                                            |                                                                             |                     | Cathions                                                | Anions                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| L'iodure de potassium..                                                                                    | KI                                                                          | donne               | $\begin{array}{c} + \\ K \end{array}$                   | et $\begin{array}{c} - \\ I \end{array}$     |
| La potasse.....                                                                                            | KOH                                                                         | ....                | $\begin{array}{c} + \\ K \end{array}$                   | .. $\begin{array}{c} - \\ OH \end{array}$    |
| Le chlorhydrate d'ammoniaque<br>AzH <sup>3</sup> HCl                                                       | } ou<br>Chlorure<br>d'ammonium... }                                         | AzH <sup>4</sup> Cl | $\begin{array}{c} + \\ AzH^4 \end{array}$               | .. $\begin{array}{c} - \\ Cl \end{array}$    |
|                                                                                                            |                                                                             |                     |                                                         |                                              |
| Le chlorhydrate (mono)<br>de quinine<br>C <sup>20</sup> H <sup>24</sup> Az <sup>2</sup> O <sup>2</sup> HCl | } ou..... C <sup>20</sup> H <sup>23</sup> Az <sup>2</sup> O <sup>2</sup> Cl | ....                | $\begin{array}{c} + \\ C^{20}H^{23}Az^2O^2 \end{array}$ | .. $\begin{array}{c} - \\ Cl \end{array}$    |
|                                                                                                            |                                                                             |                     |                                                         |                                              |
| L'acide azotique ou azotate d'H.....                                                                       | AzO <sup>3</sup> H                                                          | ....                | $\begin{array}{c} + \\ H \end{array}$                   | .. $\begin{array}{c} - \\ AzO^3 \end{array}$ |
| L'acide sulfurique ou sulfate d'H.....                                                                     | SO <sup>4</sup> H <sup>2</sup>                                              | ....                | $\begin{array}{c} + \\ H^2 \end{array}$                 | .. $\begin{array}{c} - \\ SO^4 \end{array}$  |

Cette théorie des ions est aujourd'hui universellement admise parce que seule elle a permis d'expliquer parfaitement pourquoi les solutions de sels, d'acides et de bases faisaient exception aux lois des dissolutions : en effet, leur pression osmotique, l'abaissement de leur point de congélation, leur tension de vapeur indiquaient toujours une concentration moléculaire plus grande qu'elle n'était en réalité.

Or, il avait été établi, en étudiant ces propriétés des solutions, que l'intensité du phénomène était proportionnelle au nombre des molécules dissoutes.

En admettant la théorie des ions, c'est-à-dire la dissociation d'un certain nombre de molécules par la dissolution, l'exception à la règle n'est plus qu'apparente ; les deux ions provenant de la dissociation d'une molécule se comportent chacun comme une molécule.

Au surplus, on a constaté que le degré de dissociation, c'est-à-dire le nombre de molécules dissociées, varie avec la concentration : il est d'autant plus élevé que la solution est plus étendue.

— Enfin la théorie des ions permet de donner une explication claire de l'électrolyse, phénomène jusque-là mystérieux, qui se passe dans les solutions électrolytiques seules, quand on met en rapport deux de leurs points avec les deux pôles d'une pile (pôle + : anode ; pôle — : cathode).

On appelle solution électrolytique une solution dans laquelle le solvant n'est pas par lui-même conducteur de l'électricité, mais le devient par la dissolution de certaines substances appelées électrolytes.

Or, les seuls électrolytes sont justement les sels, les acides et les bases. Dissous dans l'eau pure, la solution est conductrice ; les solutions des sucres, des albuminoïdes, des glycérines, etc., ne sont pas conductrices.

L'électrolyse consiste en ceci : en même temps que le courant passe dans la solution électrolytique, le radical métallique de l'électrolyte ou cation se dégage à la cathode, son radical acide, ou anion, à l'anode.

Pour expliquer la conductibilité électrolytique GROTHUS formula, en 1803, cette théorie restée si longtemps classique qui admettait la décomposition de la molécule de l'électrolyte par le courant électrique lui-même.

Ainsi, les substances les plus stables, formées d'atomes unis par les affinités chimiques les plus fortes, étaient les plus facilement décomposables par le courant. Aussi bien, une perte d'énergie électrique équivalant à l'énergie nécessaire à cette décomposition devait être subie par le courant et constatée après son passage à travers les solutions électrolytiques.

Or, il n'en était rien : le courant ne perdait aucune énergie pour effectuer la décomposition de l'électrolyte. — En outre, CLAUDIUS fit remarquer en 1837 que si l'hypothèse de GROTHUS répondait à la réalité, le courant devait, pour vaincre l'affinité chimique, atteindre une certaine intensité à partir de laquelle la décomposition devait s'effectuer dans toute la masse de l'électrolyte. Or, pour les plus faibles intensités, le dégagement des éléments commence ; il ne s'effectue qu'aux électrodes et augmente toujours proportionnellement à l'intensité du courant.

Aussi CLAUDIUS soupçonna la décomposition préalable d'une partie des molécules dans la solution électrolytique.

Ce fut ARRHENIUS qui formula, en 1887, la théorie de la dissociation des électrolytes en leurs ions par le dissolvant lui-même.

L'énergie nécessaire est la chaleur absorbée pendant la dissolution : on l'appelle chaleur d'ionisation.

Chacun des ions porte une charge électrique égale et de signe contraire. Lorsqu'on plonge dans la solution les deux électrodes d'une source électrique continue, les ions, suivant les lois de l'électricité statique, sont attirés ; les positifs par le pôle — ou cathode (cathions), les négatifs par le pôle + ou anode (anions).

En arrivant aux électrodes, ils perdent leurs charges et c'est cet apport continu de charges qui constitue le courant. Par suite, le courant ne passera pas si la solution ne renferme pas d'ions, c'est-à-dire si des molécules ne se sont pas dissociées en se dissolvant. C'est le cas des corps non électrolytes (albuminoïdes, sucres, graisses, glycérines, etc.).

Tant qu'elles sont à l'état d'ions, c'est-à-dire tant qu'elles portent des charges électriques, les deux parties des molécules dissociées n'ont pas les propriétés chimiques et physiques qu'elles ont à l'état neutre ou d'éléments, état qu'elles prennent au con-

tact des électrodes puisqu'elles y abandonnent leurs charges.

Ainsi, une solution de NaCl qui renferme du  $\text{Cl}^-$  et du  $\text{Na}^+$  libres, mais porteurs de charges électriques, n'a pas la coloration jaune d'une solution de Cl à l'état neutre.

Une dernière remarque pour terminer : un médecin, en prescrivant une solution étendue d'iodure de K par exemple, fait de la « Médication ionique », car son malade absorbera un peu de KI, mais surtout un mélange d'ions  $\text{K}^+$  et d'ions  $\text{I}^-$ .

Les ions peuvent en effet être introduits dans l'organisme par les différents procédés d'administration des médicaments en usage courant dans la thérapeutique... Un moyen de pénétration leur est spécial : c'est l'électrolyse. Nous étudierons dans les chapitres suivants son mécanisme et sa technique en nous occupant spécialement de l'ion Iode. Nous verrons pourquoi l'introduction électrolytique des ions est le procédé de choix pour le traitement de diverses affections et nous rapporterons quelques observations de malades traités par l'ion iode tendant à confirmer cette opinion.

## CHAPITRE II

### Historique

Les premières applications de l'électricité à la médecine remontent fort loin dans l'histoire de la thérapeutique.

Bien avant qu'on soupçonnât la nature de cet agent physique, SCRIBONIUS LARGUS, 34 ans après Jésus-Christ, conseillait aux podagres et aux rhumatisants de se baigner dans de l'eau contenant des torpilles et des gymnotes (1).

Mais si nous ne nous occupons que de l'histoire de l'électrolyse médicamenteuse, c'est-à-dire de l'utilisation du courant électrique pour l'introduction des médicaments, nous voyons qu'il faut arriver aux dernières années du XIX<sup>e</sup> siècle pour trouver des médecins utilisant systématiquement ce procédé devenu scientifique et pratique.

Et cependant, depuis plus d'un siècle, de nombreux expérimentateurs l'avaient déjà entrevu.

Vers 1750, BIANCHI et PIVATI, en Italie, font des

(1) H. SOULIER. Traité de thérapeutique, 1891.

recherches sur la cataphorèse; l'abbé NOLLET, en France, remarque que l'effluve électrique jouit de la propriété d'entraîner à distance la matière dont elle jaillit, et fait usage de l'effluve pour le transport des substances médicamenteuses.

Après les travaux de FARADAY sur l'électrolyse, en 1883, commencèrent les véritables applications thérapeutiques, mais seulement à titre d'essai et sans la connaissance exacte du phénomène.

FABRÉ-PALAPRAT (1) prétendit, en 1833, avoir fait passer de l'iode à travers l'organisme à l'aide du courant électrique.

En 1846, KLENKE (2) annonce avoir guéri des cas de scrofule par l'introduction électrolytique de KI.

En 1853, HASSENSTEIN (3) publie des observations analogues pour le mercure et la syphilis.

En 1859, RICHARDSON (4) cherche à obtenir la narcose par le chloroforme et l'aconit, à l'aide du courant galvanique.

En 1860, paraît la traduction du livre de REMAK sur la galvanothérapie, où l'auteur, sans rien préciser de clair sur le mode d'action, préconise comme très efficace l'emploi du courant galvanique dans les « rhumatismes articulaires, les inflammations articulaires subaiguës et chroniques, traumatiques ou rhumatismales »; il pensait, par l'emploi judicieux du courant continu, « accélérer dans les tissus l'écoulement des liquides ».

Citons BEER (8), de Vienne, en 1869; MUNCK (10), en 1873, qui aurait pu donner des convulsions à des lapins en employant comme électrodes des solutions de strychnine; les travaux de ERB en 1884 (12).

En 1885, M. BRONDEL (14), d'Alger, fit une communication à l'Académie de médecine sur l'introduction de l'iode par l'électrolyse. Voici le compte-rendu par la *Gazette des Hôpitaux* du 24 septembre 1885 :

« Académie de médecine. Séance du 22 sept. 1885.

« Diélectrolyse. — M. A. BRONDEL, d'Alger, fait une communication sur « l'introduction dans l'économie de certains médicaments au moyen de l'électricité ».

« Si on fait passer un courant dans une dissolution d'un sel, ce sel est décomposé : le métal se rend au pôle négatif et le métalloïde ou l'acide vont au pôle positif. C'est cette opération que M. BRONDEL a réussi à accomplir au travers de l'organisme et à laquelle il a donné le nom de diélectrolyse.

« Pour l'iode, qui est un métalloïde très facilement diélectrolysable, il applique sur une partie du corps une plaque d'amadou trempée dans une solution de KI, et par-dessus cette plaque, le pôle négatif d'une pile dont le pôle positif est placé sur une autre partie du corps; l'iode se sépare du K, qui reste au pôle — et chemine à travers les tissus vers le pôle +, où il arrive très rapidement, comme on peut s'en assurer au moyen d'un papier amidonné qui bleuit.

« C'est là une méthode hypodermique, ou plutôt

intra-organique, sans effraction de la peau, c'est-à-dire sans douleur.

« Un grand nombre de corps simples pourront ainsi traverser l'économie, et les applications de la méthode nouvelle peuvent être très nombreuses et très importantes.

« M. BRONDEL a ainsi guéri des fibromes utérins, un cas de périmérite, une névralgie ovarienne rhumatismale, plusieurs cas de rhumatisme chronique.

« Les recherches ultérieures de l'auteur doivent porter sur diverses maladies : les tumeurs parasitaires et malignes, les affections de la peau, la syphilis, les névralgies, etc., et surtout la phtisie pulmonaire, où il compte essayer l'action de divers minéraux : arsenic, Hg, fluor, etc., que la diélectrolyse permet de faire pénétrer jusque dans le tissu pulmonaire.

« (Renvoyé à l'examen d'une commission). »

En moins d'une semaine, cette commission s'est fait une opinion ferme et à la séance du 29 septembre de l'Académie de médecine, M. DUJARDIN-BEAUMETZ (13) communique ses travaux. En voici le compte-rendu fourni par le numéro du 1<sup>er</sup> octobre 1883 de la *Gazette des hôpitaux* :

« *Diélectrolyse. — Expériences négatives.*

M. DUJARDIN-BEAUMETZ demande la parole à l'occasion du procès-verbal.

« M. BRONDEL, dit-il, dans sa communication de la dernière séance, prétendait que les médicaments

peuvent traverser l'économie au moyen de l'électrolyse.

« *C'était là une révolution considérable dans la thérapeutique. J'ai prié M. BRONDEL de vouloir bien répéter ses expériences dans mon service, ce à quoi il a bien voulu se prêter. J'ai le regret de déclarer que la diélectrolyse n'existe pas. C'est une simple erreur d'expérimentation.*

« M. BRONDEL prétendait qu'en plaçant sur la face dorsale d'un individu de l'iodure de K et une électrode, — puis sur la face ventrale une électrode +, l'iode ne tardait pas à apparaître de ce côté.

« Or, nous avons plusieurs fois répété l'expérience suivante : nous avons placé sur le dos d'un malade des rondelles d'amadou imbibées d'iodure de K et par-dessus une électrode négative ; puis, à la partie antérieure du corps, nous avons mis des rondelles d'amadou, et par-dessus une électrode de platine. Jamais nous n'avons vu apparaître de ce côté la moindre trace d'iode.

« Je priai alors M. BRONDEL de faire lui-même l'expérience. Dans ce cas, elle réussit. Je pensai que M. BRONDEL avait pu porter avec ses propres mains l'iode sur le ventre du malade. En effet, dès que je pris la précaution d'agir de façon que ce ne fût pas la même personne qui appliquait les deux électrodes, jamais aucune trace d'iode n'a traversé l'économie.

« M. BRONDEL, avec une grande franchise qui l'ho-

noré, s'est empressé de reconnaître lui-même l'erreur dans laquelle il était involontairement tombé. Il y a là, on le voit, des recherches nouvelles à faire ; mais la diélectrolyse, quant à présent, n'existe pas. »

Pour plusieurs raisons, nous avons tenu à reproduire *in extenso* ces deux communications.

Elles prouvent qu'à la fin de 1885, malgré les travaux précédemment mentionnés, l'introduction médicamenteuse électrolytique, bien que soupçonnée, est en réalité inconnue et son existence est niée par M. DUJARDIN-BEAUMETZ.

Elles nous montrent une fois de plus que l'expérimentateur ne doit pas trop se laisser entraîner par les lois ou les théories préétablies. Elles pourraient imprimer une mauvaise direction à ses recherches, et l'empêcher de faire une découverte intéressante s'il n'obtenait pas le résultat qu'il prévoyait : si M. BRONDEL n'avait pas été si préoccupé de mettre d'accord son expérience et les lois de Faraday sur l'électrolyse, il n'aurait pas recherché uniquement l'iode au pôle positif et aurait remarqué que l'électrolyte complexe sur lequel il opérait, le corps humain, pouvait modifier les résultats en changeant les conditions de l'expérience.

D'un autre côté, M. DUJARDIN-BEAUMETZ, après avoir constaté l'erreur de M. BRONDEL, n'aurait pas dû conclure que la diélectrolyse n'existait pas, que l'iode n'avait pas été introduit par le courant, puisqu'en

réalité cette introduction avait probablement été faite. Il pouvait seulement affirmer que la présence de l'iode au pôle + était due à une faute d'expérimentation.

Heureusement, cette déclaration, tombée de la bouche du maître, n'empêcha pas de reprendre ces expériences.

La même année, LAURET (16), dans une thèse soutenue à Montpellier sur « l'Introduction des substances médicamenteuses à travers la peau saine par l'influence de l'électricité », rapporte l'expérience suivante : il fait plonger l'avant-bras de son sujet dans une cuve contenant de l'iodure de K. Une borne est fixée à la paroi du récipient. L'autre borne est en rapport avec une large électrode humide maintenue en contact intime avec la partie supérieure du bras.

En alternant le courant, c'est-à-dire en faisant de l'avant-bras de son sujet, tantôt une électrode positive, tantôt une électrode négative, — après s'être assuré au préalable que l'immersion simple ne donne aucun résultat, — LAURET constate par l'analyse des urines que l'absorption de l'iode est sensiblement plus forte quand le bras est en contact avec le pôle + que dans la condition inverse; mais que l'iode pénétrerait la solution iodurée soit à l'anode ou à la cathode. Ainsi donc LAURET admet une influence de la cataphorèse.

En 1886, WAGNER (18) traita des névralgies par l'introduction électrolytique de la cocaïne.

HERZOG (19) appliqua le même moyen au traitement de l'urticaire.

En 1887, communications de REYNOLDS (Chicago) et ADAMKIEWICZ au 6<sup>e</sup> congrès de médecine de Wiesbaden (21-23).

En 1888, CHÉRON et GEVAERT traitent les teignes par le sublimé et le courant ; BOCCOLARI et MANZIERRI (de Modène) intoxiquent les lapins par la pénétration de la strychnine (25).

En 1889, PETERSEN (28) introduisit électriquement la cocaïne et l'aconitine pour le traitement des névralgies ; SCHROEBER et ALBRAN traitèrent les affections oculaires par l'introduction électrolytique de l'iode. — La même année G. GARTNER et ERKMANN (27), puis KROHFELD (35), en 1891, traitèrent avec succès la syphilis en introduisant électrolytiquement le Hg du sublimé. Le Hg se retrouvait dans l'urine, et les résultats thérapeutiques étaient indéniables.

En 1890, le D<sup>r</sup> FOVEAU DE COURMELLES, utilisant le courant d'induction, différencie expérimentalement la cataphorèse de l'électrolyse médicamenteuse qu'il nomme Bi-électrolyse (communication à l'Institut et à l'Académie de médecine) (32). Au Congrès de Berlin, EDISON (31) indique, comme traitement de la goutte, l'introduction électrolytique du lithium ; ce traitement fut appliqué avec succès par MM. LABATUT,

JOURDANET et PORTE, GUILLOZ, BORDIER, LEUILLIEUX [1894-1897] 45, 49, 51, 68].

En 1892, thèse d'AUBERT (38), de Lyon ; expériences sur la pénétration de la pilocarpine. Le même auteur, dans *le Lyon médical* de septembre 1892 donne l'explication suivante de l'expérience de LAURET que nous avons décrite plus haut : « Si l'on applique les deux pôles d'une pile sur une feuille de papier mouillée d'une solution iodurée, on voit l'iode se dégager très nettement au pôle positif. Or, dans l'expérience de LAURET, lorsque l'électrode positive est placée sur le bras, l'avant-bras représente la continuation de cette électrode plongeant dans la solution iodurée. Or, l'iode est à l'état volatil et naissant, l'absorption en est donc plus facile. Quand le courant est inversé, l'iode est mis en liberté au niveau de la paroi du récipient devenue l'anode. La très légère pénétration que l'on constate alors est due, soit à une véritable cataphorèse réduite au minimum par la diffusion d'un courant de moyenne intensité sur une trop large surface, soit à la diffusion dans le liquide de l'iode mis en liberté au pôle positif. »

On voit, par cet exemple, combien est peu précise à cette époque l'explication théorique de la pénétration électrolytique dans l'organisme des composants d'une solution médicamenteuse, et par suite combien la méthode d'application à la thérapeutique doit être peu nette. En outre, la cataphorèse, à laquelle cer-

tains auteurs attribuent une trop grande importance, embrouille la question ; d'autres, par contre, confondent les deux termes de cataphorèse et d'électrolyse.

Cependant, de nouveaux travaux sont publiés : En 1894, HUNTER et M. GUIRE (42) : « Traitement cataphorétique du goître et de l'orchite chronique par l'iode ». — La Thèse de SAvY (44), de Lyon, 1895, rapportant les expériences faites avec le D<sup>r</sup> E. DESTOT (43) et communiquées l'année précédente au congrès de médecine de Lyon. Les conclusions de l'auteur sont d'ailleurs négatives, « l'introduction diadermique des médicaments sous l'influence de l'électricité ne saurait avoir une grande valeur thérapeutique ».

— M. SUDNIK (47) traite les tuberculoses locales par l'électrolyse du chlorure de zinc.

En 1897, Simon FUBINI et Pierre PIERINI (52), de Pise, décèlent, par l'analyse des urines, de nombreux médicaments introduits électrolytiquement dans l'organisme : la santonine, le lithium, l'iode, la quinine, l'atropine, l'acide salicylique, la strychnine ; — la même année, le D<sup>r</sup> G. WEISS (50) montre, par les altérations histologiques, l'électrolyse s'exerçant dans la profondeur des tissus.

Dès lors, les observations se multiplient ; de nombreux médecins utilisent avec succès le nouveau mode de traitement. Nous ne pouvons mieux faire que de renvoyer à la bibliographie où nous donnons une liste de leurs travaux aussi complète que possible.

Au début de l'année 1900, le Dr FRITZ FRANKENHAUSER (66, 67, 77, 78), de Berlin, publie de remarquables travaux sur les actions exercées sur la peau par l'introduction électrolytique des différentes substances.

La même année, à Paris, au Congrès de l'A.F.A.S., le professeur BORDIER (82) expose un travail sur la confirmation de la théorie du transport des ions à travers les tissus. A ce même congrès et au 1<sup>er</sup> congrès international d'électrobiologie et de radiologie médicales (Paris, 27 juillet-1<sup>er</sup> août 1900), M. le Professeur LEDUC (81, 83 à 86) « établit d'une façon définitive le phénomène de l'introduction électrolytique des ions dans l'organisme vivant (1)... ». Mettant deux lapins en série sur le même courant, le courant entrant dans l'un par une solution du sulfate de strychnine, sortant par une solution de chlorure de sodium, entrant dans l'autre par une solution de chlorure de sodium, sortant par une solution de sulfate de strychnine, la strychnine descendant le courant, le lapin ayant la solution de sulfate de strychnine à l'anode seul succombe, l'autre résiste et peut résister comme témoin à l'empoisonnement d'une série de lapins ayant le sulfate de strychnine à l'anode. — Si l'on remplace le sulfate de strychnine par une solution de cyanure de potassium, l'ion cyanique remontant le courant, c'est le lapin ayant le cyanure à la cathode qui succombe. — Par l'emploi

(1) FOCKENBERGHE (103), Thèse de Bordeaux (1903).

d'ions colorés ou caustiques que l'on peut suivre à travers les tissus, M. LEDUC montra que l'introduction médicamenteuse suivait toujours les lois de l'électrolyse : les anions sont introduits sous la cathode, les cations sous l'anode.

L'introduction électrolytique fut ainsi établie d'une façon indiscutable. Enfin M. LEDUC « donna le pas à l'Electrolyse médicamenteuse sur la cataphorèse proprement dite, mode d'introduction qui, s'il existe réellement, n'a qu'une importance secondaire, établit des courbes de résistance du salicylate de soude en même temps que le rapport des vitesses dans les tissus de l'ion salicylique à l'ion sodium (1) ».

En septembre 1904, au congrès d'Ajaccio, M. LEUILLEUX (88) émet l'hypothèse que la nature du cation n'a pas une importance prépondérante, que l'action thérapeutique se fait surtout sentir par la mise en mouvement des ions à la suite du passage du courant électrique à travers les tissus.

L'attention du monde médical est alors réellement attirée par ces faits ; les applications thérapeutiques se généralisent. C'est ainsi que, depuis le début de 1903, la décomposition électrolytique du salicylate de Na est devenue d'un usage courant à la clinique électrothérapique de Bordeaux dans le traitement « loco dolenti » des arthrites rhumatismales loca-

(1) FOCKENBERGHE (103), Thèse de Bordeaux (1903).

lisées ; et M. le D<sup>r</sup> ROQUES expose, dans les Archives d'électricité médicale du 15 novembre 1903, les résultats cliniques obtenus. (*Se reporter à la Bibliographie*).

Pour compléter cet historique, il faut mentionner les travaux qui ont été faits sur l'extraction des ions, en se servant, comme pour l'introduction, de l'électrolyse :

En 1873, ENGEL soutint une thèse à Nancy sur l'extraction des métaux du corps humain au moyen de l'électrolyse.

FRITZ FRANKENHAUSER démontra récemment par expérience l'extraction possible des ions organiques et BORDIER se sert de cette propriété avec succès pour extraire l'ion urique des tophi goutteux.

POEY fit absorber à un patient une certaine quantité de sels métalliques, puis l'installa dans une baignoire en zinc isolée du sol et remplie d'eau acidulée. Une électrode négative fut reliée à la baignoire, une électrode positive fut tenue en main par le patient ; au bout d'un certain temps, l'expérimentateur put constater sur les parois de la baignoire un dépôt des substances métalliques ingérées, évidemment extraites par le courant.

Les recherches de BEHRING et de ses élèves font entrevoir la possibilité d'éliminer les toxines par le courant électrique.

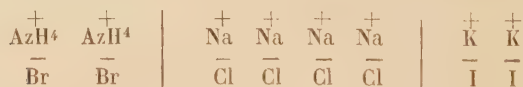
## CHAPITRE III

### Introduction électrolytique des ions.

#### 1° MÉCANISME

Quand on établit une différence de potentiel entre deux points d'une solution électrolytique, les anions (radicaux acides) se dirigent vers l'anode, les cations (radicaux métalliques) vers la cathode.

Imaginons maintenant une série de différentes solutions électrolytiques, ne précipitant pas les unes par les autres, et séparées seulement par des cloisons poreuses : trois solutions de bromure d'ammonium, de chlorure de sodium et d'iodure de potassium, par exemple. Représentons-les de la façon suivante.

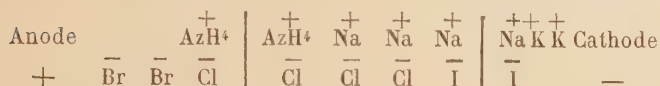


Etablissons une différence de potentiel entre les deux solutions extrêmes de la série.

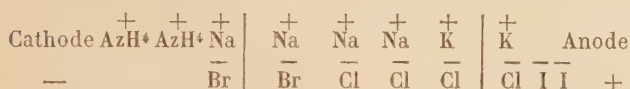
Tous les cations avancent vers la cathode, tous les anions vers l'anode. Il en résulte des modifica-

tions dans la constitution des trois solutions et elles diffèrent suivant le sens du courant :

Si l'anode plonge dans le bromure, nous aurons :



et si c'est la cathode :



Dans les deux cas, la solution qui est entre les autres a reçu les cathions de la solution où plonge l'anode et en échange lui a cédé des anions; elle a reçu en outre les anions de la 3<sup>e</sup> solution, celle où plonge la cathode, et en échange lui a cédé des cathions.

Tout ceci est déduit de la théorie moderne de l'Electrolyse et a été prouvé à maintes reprises par des expériences faciles à réaliser.

Or, si l'on considère que les tissus vivants, imprégnés de solutions salines, sont des électrolytes, les connaissances acquises par l'étude des électrolytes leur sont directement applicables. Le chlorure de Na est le sel le plus abondant de l'organisme.

Si, dans les schémas précédents, nous considérons la solution de NaCl comme représentant le corps humain, les deux autres solutions électrolytiques étant appliquées en deux points différents du corps,

nous devons obtenir, par suite du double courant des ions entre l'anode et la cathode métalliques, des échanges ioniques aux surfaces de séparation du corps et des électrolytes, c'est-à-dire à travers la peau; le corps doit abandonner ses anions à la solution qui est à l'anode et lui prendre en échange ses cathions; il abandonnera ses cathions à la solution qui est à la cathode, et lui prendra ses anions.

En pratique, comme on n'aura pas à introduire simultanément dans un but thérapeutique des anions et des cathions, on emploiera toujours, pour en faire une des solutions électrolytiques, du chlorure de sodium : ce sera la solution indifférente.

L'autre solution contiendra l'ion à introduire : si c'est un cation (ions quinine, cocaïne, morphine, codéïne, pilocarpine, zinc, lithium, mercure, etc...), on la mettra à l'anode; si c'est un anion (ions iode, brome, salicylique, arsenique, arsénieux, cacodylique, phosphore, phosphoreux, phosphorique, etc...), on la mettra à la cathode.

La possibilité de l'introduction électrolytique des ions a été longtemps niée par la majorité des physiologistes et des médecins. La plupart des expérimentateurs qui avaient étudié l'absorption électrolytique cherchaient à prouver cette absorption en décelant les ions absorbés dans les urines ou les tissus, ou en produisant des effets physiologiques caractéristiques : convulsions avec la strychnine, anesthésie

par la cocaïne, etc... On pouvait leur objecter, non sans raison, que l'absorption pouvait se faire par la peau, sans l'aide du courant.

M. le Professeur LEDUC présenta, en 1900, au Congrès de l'A. F. A. S. et au Congrès international d'électrobiologie, puis, en 1901, à la séance de la Société Française d'électrothérapie, deux méthodes nouvelles démontrant d'une façon indiscutable l'introduction électrolytique des ions : c'est d'abord la méthode de la mise en série des animaux, puis la méthode des ions colorés. La première consiste en l'emploi d'ions toxiques : ils produiront leurs effets physiologiques si on les place à l'électrode convenable sur un des animaux, ils ne seront pas introduits dans l'organisme de l'autre animal si la solution toxique est à l'autre électrode. Ainsi, un lapin ayant une anode de sulfate de strychnine ou une cathode de cyanure de potassium, est rapidement tué, tandis qu'un second lapin ayant la strychnine à la cathode ou le cyanure à l'anode résiste indéfiniment, bien qu'ils soient tous deux soumis aux mêmes contacts et au même courant. — La méthode des ions colorés fournit une seconde preuve : avec une solution de permanganate de potasse sous la cathode, on fait pénétrer l'anion permanganique, et la peau est ponctuée de cercles d'un brun noir, nettement circonscrits (voir photographie, *in* thèse Gonzalès), on n'obtient rien de semblable à l'anode. Ces cercles correspon-

dent aux orifices glandulaires. L'emploi des ions colorés montre donc en même temps que les canaux glandulaires sont les voies naturelles de pénétration des ions.

## 2° TECHNIQUE

Tout médecin peut, à peu de frais, se procurer les instruments nécessaires à l'introduction électrolytique des ions et apprendre facilement à s'en servir.

Il suffit de disposer d'un courant électrique convenable dont l'intensité puisse être réglée et mesurée à volonté, de fils conducteurs et d'électrodes particulières.

— Le courant doit être continu, et avoir une assez forte tension : 30 à 50 volts. Il peut être fourni par des piles, des accumulateurs ou une canalisation urbaine.

Les éléments de pile employés en médecine ont une force électromotrice d'environ 1 volt 5 (pile Leclanché). Trente éléments réunis en série donneront 45 volts qui, sur une résistance totale de 450

ohms, donneront, d'après la formule  $I = \frac{E}{R}$ , une intensité de  $\frac{45}{450} = 0$  ampère 100, soit 100 milliampères.

Les accumulateurs sont des appareils où on accumule, sous forme d'actions chimiques et à l'aide d'un

courant électrique, une certaine quantité d'énergie qui sera ultérieurement dépensée sous forme d'actions électriques. Ils devront donc être rechargés de temps en temps, par conséquent il faudra déjà disposer d'un courant.

On les emploie de la même manière que les piles. Chaque élément a une force électro-motrice  $E$  de 2 volts. Il en faudra pour l'électrolyse 20 à 30 accouplés en série.

Le courant urbain est la source qui doit être préférée quand on l'a à sa disposition. Sa tension est très constante (110 ou 220 volts). La dépense est insignifiante; les appareils nécessaires à son utilisation (réducteurs de potentiel) fonctionnent régulièrement et n'ont jamais besoin de réparation. Les ennuis des piles et des accumulateurs sont supprimés (remplissage ou recharge, remplacement des électrodes, épanchements d'acide, etc...).

Le courant, pour l'usage médical, ne doit être introduit dans le circuit que graduellement. Une intensité portée brusquement à 100 milliampères ne pourrait être supportée par aucun sujet; il la supportera parfaitement, si la force électromotrice est progressivement introduite dans le circuit. Ce but est atteint par l'emploi de rhéostats ou de réducteurs de potentiel. Par les premiers, la force électromotrice restant invariable, on introduit dans le circuit des résistances de moins en moins fortes, alors l'intensité

s'accroît proportionnellement en vertu de  $I = \frac{E}{R}$ . Les réducteurs de potentiel agissent, au contraire, sur la force électromotrice  $E$ , qu'ils augmentent petit à petit, la résistance  $R$  restant constante. Ces derniers instruments sont préférables aux rhéostats : leur fonctionnement est plus simple et plus régulier. Ils sont d'ailleurs indispensables pour l'emploi des courants urbains, dont le voltage est beaucoup trop élevé. Un réducteur construit pour 110 volts peut être utilisé sur 220 en mettant en série une lampe à incandescence de 110 volts.

Aussi indispensable est un milliampéremètre aperiодique placé dans le circuit : il fera connaître à tout instant l'intensité du courant qui traversera le patient; et surtout il permettra de déduire de la connaissance des intensités la quantité introduite du médicament. On pourra doser les ions avec une très grande précision; nous verrons comment, dans un autre chapitre. Pour les médicaments très toxiques, cela ne manque pas d'importance.

Pour amener le courant aux électrodes, les fils métalliques ou réophores doivent être longs et souples. La médication électroïonique exige de hautes intensités; par suite, si le courant était brusquement interrompu, il se produirait chez le sujet des secousses extrêmement pénibles pouvant l'indisposer contre ce mode de traitement. Il est donc nécessaire d'unir

parfaitement les extrémités des conducteurs aux électrodes et aux pôles du générateur. Du côté du générateur, il suffit de visser fortement aux deux bornes les chevilles métalliques qui terminent les fils. M. LEVUC recommande d'abandonner ce procédé pour la fixation aux électrodes. Il propose une soudure solide à une plaque d'étain très souple. De cette façon, le malade pourra faire quelques mouvements et il n'y aura pas à craindre l'arrachement ou l'ébranlement des fils.

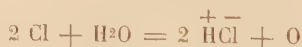
Nous arrivons aux électrodes, et nous nous y attarderons, étant donnée leur importance.

Ce terme d'« électrode » s'applique en thérapeutique électroïonique non seulement aux plaques métalliques sur lesquelles sont soudés les réophores, mais aussi par extension aux solutions électrolytiques en contact avec le corps. Ces solutions peuvent être employées sous forme de bains locaux; mais il est préférable d'en imbiber des substances spongieuses faciles à appliquer sur les différentes parties du corps. L'ensemble formé par le bain ou la substance spongieuse imbibée de l'électrolyte et la plaque métallique constitue l'électrode.

Les plaques métalliques seront nues, c'est-à-dire dépouillées des classiques peaux de chamois dont on les trouve recouvertes dans le commerce. Elles sont en effet difficiles à dépouiller des ions étrangers toxiques ou non dont elles auraient pu être chargées

dans les séances antérieures. L'accident suivant, rapporté par M. LEDUC, en fait foi : « Dans une expérience de cours où j'introduisais rapidement, c'est-à-dire avec une forte intensité, un ion inoffensif dans le corps d'un lapin, l'animal est pris tout à coup d'accidents tétaniques intenses, et meurt. La solution électrolytique servant à l'introduction de l'ion imprégnait une épaisse couche de coton hydrophile, mais le préparateur avait, sur ce coton hydrophile, placé une électrode ordinaire du commerce, plaque métallique recouverte de peau de chamois, qui, quelques jours avant, avait été imprégnée d'une solution de strychnine dont le préparateur avait cru la débarrasser par un lavage à l'eau (122). »

Pour éviter l'introduction d'ions étrangers nuisibles, le choix du métal acquiert aussi une grande importance. Examinons ce qui arriverait par l'emploi de métaux inattaquables comme le platine et des solutions de chlorure de sodium : à l'anode une partie de chlore, au lieu de se dégager à l'état d'élément, donnera avec l'eau la réaction suivante :



à la cathode, avec le sodium nous aurons de même :



Deux nouveaux électrolytes se seront donc formés, c'est-à-dire des ions nouveaux, puisqu'ils sont dis-

sous : à l'anode l'ion  $\overset{+}{\text{H}}$  se dirigera vers la peau, l'ion  $\overline{\text{Cl}}$  vers le platine où il pourra recommencer les mêmes réactions ; à la cathode l'ion  $\overline{\text{OH}}$  ira vers la peau, l'ion  $\overset{+}{\text{Na}}$  vers le métal.

Or, ces ions  $\overset{+}{\text{H}}$  et  $\overline{\text{OH}}$ , surtout le premier, sont très caustiques et de plus se déplacent relativement vite à travers les solutions sous l'influence de la force électromotrice et de la pression osmotique qui résulte de leur production continue. (D'après les mesures de Kohlrausch, ce sont d'ailleurs les ions les plus rapides.)

Avec les électrodes attaquables (plomb, cuivre, étain, etc...) il y aura formation à l'anode d'un chlorure du métal employé et, en réalité, production d'un ion métallique allant vers la peau ; à la cathode, il y aura, comme dans le premier cas, formation de l'ion  $\overline{\text{OH}}$ . — Il sera donc nécessaire d'éviter l'emploi de métaux toxiques, comme le plomb ou le cuivre ; d'ailleurs ils sont très attaquables et diffuseront d'autant plus vite. Ils arriveraient rapidement à la peau et seraient introduits dans l'organisme.

Pour le prouver, M. le professeur LEDUC fit les expériences suivantes :

Après une séance d'électrolyse d'intensité et de durée moyennes, où les plaques métalliques employées étaient inattaquables, en traitant par une solution de phénolphtaléine l'électrode spongieuse placée sous

la cathode, la coloration rose caractéristique de la présence des bases apparut sur une épaisseur de 20 à 25 millimètres à partir de la plaque métallique (soit 10 à 12 épaisseurs de tissu de coton hydrophile). — Inversement, si une solution de phénolphtaléine colorée en rose par une base est versée sur le tissu qui était à l'anode, l' $\text{H}^+\text{Cl}^-$  formé la décolore jusqu'où cet électrolyte a diffusé et on peut constater qu'il est allé fort loin lui aussi.

Après l'emploi de plaques métalliques en plomb, M. LEDEC obtient à l'anode un précipité noir de sulfure de plomb sur huit épaisseurs de tissu en le traitant par une solution de sulfure d'ammonium.

Sur quel métal fixerons-nous notre choix? Aucun, remarquons-le, ne fera éviter la formation d'ions étrangers. Nous éviterons seulement les plus nuisibles en interposant suffisamment de tissu spongieux (au moins 16 épaisseurs de tissu de coton hydrophile) entre la plaque et la peau et en choisissant un métal peu attaquable et peu toxique, l'aluminium ou l'étain.

Les métaux inattaquables, le platine, seront absolument mis de côté, non seulement par suite de leur prix élevé, mais pour éviter absolument l'ion  $\text{H}^+$ , le plus caustique et le plus diffusible des ions parasites.

Ce que nous venons d'exprimer n'est peut-être pas l'opinion courante.

Lorsqu'on voudra introduire certains cathions, comme le zinc, il y aura avantage à employer comme anode, toutes les fois que ce sera possible, le métal de la solution électrolytique.

Les dimensions des plaques importent peu. Il sera facile, si elles sont trop grandes et si on veut limiter la surface d'introduction de l'ion médicamenteux, de placer directement sur la peau une feuille de taffetas gommé, substance isolante, où l'on aura découpé un orifice de dimensions voulues.

Enfin, les plaques métalliques devront être souples afin de pouvoir s'adapter facilement aux courbures du corps.

La substance spongieuse nécessite, elle aussi, un choix spécial. Il faut qu'elle s'imprègne bien de la solution à employer, qu'elle donne avec la peau un contact parfait et ne contienne pas d'ions étrangers. Le coton et la gaze hydrophiles peuvent être employés ; il est plus pratique et moins coûteux de se servir d'étoffes faites avec du coton hydrophile : elles peuvent être lavées après chaque séance, mais il faudra faire ce lavage à l'eau distillée : les savons y introduiraient des électrolytes étrangers. Pour appliquer ces étoffes hydrophiles sur les membres, on les découpera en bandes plus ou moins larges, dont il sera facile d'entourer plusieurs fois le membre ; on les repliera de façon à former des compresses de dimensions variées quand on voudra les placer sur le

tronc. De toutes façons, il sera nécessaire d'avoir au moins 16 épaisseurs de tissu pour éviter les ions provenant des plaques métalliques où naissant à leur contact.

Plus la surface de contact des électrodes avec la peau sera grande, plus il sera facile d'obtenir des intensités élevées, plus grande et plus rapide, par conséquent, sera l'introduction des ions. Il existe en effet une grandeur d'importance capitale en médecine, c'est la densité du courant, le quotient  $\frac{I}{S}$  de l'intensité par la surface du conducteur.

Pour terminer cette étude des électrodes, il nous reste maintenant à ajouter quelques généralités sur les solutions dont on imprégnera le coton hydrophile : elles doivent d'abord être faites avec de l'eau distillée ; leur concentration n'a aucune influence sur la quantité d'ions introduits ; elle ne dépend en effet que de la nature des ions et de l'intensité du courant. (Voir *Dosage des ions*.) — A d'autres points de vue, la concentration n'est pas indifférente. Des solutions trop concentrées d'acides ou de bases fortes produiraient des actions caustiques directes. — Des solutions trop étendues augmentent la résistance des électrodes et préservent mal des ions parasites venant des plaques métalliques. Moins la solution est concentrée, plus le nombre des ions augmente : ainsi 1 molécule gramme de chlorure de sodium (58 gr.5) dissoute dans 1 litre d'eau est dissociée dans

la proportion de 75 p. 100 ; dans 10.000 litres d'eau, 98 p. 100 sera ionisé. — Quand on emploie un sel neutre sans action directe sur la peau, la solution sera faite de 1 à 5 p. 100.

### 3° EFFETS PHYSIOLOGIQUES ET THÉRAPEUTIQUES

Une fois tout préparé pour l'introduction électrolytique, la solution médicamenteuse, bien placée au pôle convenable (1), on établit le courant électrique avec lenteur et régularité. Une limite d'intensité, variable suivant la tolérance des sujets, sera atteinte plus ou moins rapidement : il ne faudra jamais la dépasser. Quand la quantité introduite du médicament sera jugée suffisante, on diminuera lentement le courant jusqu'à zéro du milliampèremètre, puis on détachera les électrodes.

Le passage du courant s'accompagne d'une douleur généralement minime, consistant en une sensation plus ou moins marquée de picotement, de brûlure. Elle dépend de la nature de l'ion introduit, et surtout de la vitesse avec laquelle on élève l'intensité ; elle diminue avec l'accoutumance et varie suivant les individus ; tel sujet supportera sans difficulté plus de 100 milliampères, tel autre dépassera difficilement 40.

Quand un sujet accuse une douleur très vive, une

(1) Les pôles auront été déterminés une fois pour toutes avec la phénolphthaléine : tache rouge au pôle négatif.

cuisson intense en un point bien précis, c'est que la peau présente une solution de continuité, une écorchure, un bouton, qui n'avait pas été remarqué avant d'appliquer l'électrode. Il ne faut pas hésiter alors à interrompre graduellement le courant, lever l'électrode, chercher l'écorchure, l'essuyer avec un tampon de coton hydrophile imprégné d'alcool, et recouvrir d'une goutte de collodion élastique qui, séchée, ne laisse pas passer le courant, et recommencer la séance. Si on n'agissait pas ainsi, la douleur finirait par s'atténuer et même disparaître, mais à la fin de la séance une escarre viendrait prouver que l'on aurait eu tort d'accuser la pusillanimité du sujet ou son ignorance des sensations produites par le passage du courant.

Voici comment se produit l'escarre :

Si, sous l'électrode, une résistance égale s'oppose sur toute la surface de la peau à la progression des ions (du courant) vers l'électrode de signe contraire, la densité sera partout la même, et il n'y aura pas d'accident ; si, par hasard, l'égalité de résistance est supprimée (saillies osseuses, déformations sur lesquelles l'électrode appuie plus fortement, ou bien solutions de continuité de la peau), tous les ions, toute la densité se portera aux points de moindre résistance et il se produira des brûlures dont l'étendue variera avec l'intensité du courant et la durée de son application.

Beaucoup de médecins, même des électrothérapeutes, estiment la quantité de médicament pouvant pénétrer par électrolyse trop minime pour avoir une importance thérapeutique appréciable. D'autres disent : il n'y a aucun avantage à introduire les médicaments par ce procédé ; on obtiendrait les mêmes résultats par leur incorporation dans des pom-mades.

Il n'est d'abord nullement certain que les effets physiologiques ou thérapeutiques des ions introduits par l'estomac ou une injection hypodermique soient absolument les mêmes quand ils pénètrent à l'aide du courant. Le contraire est même probable. Par les premiers procédés, les ions médicamenteux sont ajoutés ; par le second, ils sont substitués aux ions normaux.

De plus, pendant le passage du courant, tous les ions de l'organisme subissent des déplacements indépendants de la solution employée au niveau des électrodes : les cations des différents tissus et organes se rapprochent de la cathode, les anions de l'anode. Les tissus n'ayant pas la même constitution chimique, n'étant pas imprégnés des mêmes électrolytes, il se produit des échanges d'ions entre les surfaces de séparation de deux milieux différents. D'où il résulte des modifications biologiques et osmotiques. Ce sont là les effets interpolaires, regardés par certains [TURFIER et MAUTÉ (118), DESFOSSES et MARTINET (120)] comme

étant des plus importants, surtout en ce qui concerne l'action sclérotique de l'électroïonisation.

Quant aux quantités d'ions médicamenteux pouvant être introduites par ce procédé, elles seront aussi élevées qu'on voudra. Elles dépendent en effet, nous le verrons, du nombre de coulombs transportés, c'est-à-dire de l'intensité du courant multipliée par le temps pendant lequel il a passé. La méthode ne peut donc souffrir l'objection d'une trop minime introduction médicamenteuse. N'avons-nous pas vu, d'ailleurs, la possibilité d'introduire en quelques minutes une quantité d'ions toxiques suffisante pour produire la mort d'animaux ou un début d'intoxication chez l'homme?

Nous avons pu nous introduire en une heure d'électrolyse suffisamment d'ions iode pour que l'élimination durât plus de deux jours.

L'introduction électrolytique a sur l'ingestion des médicaments ou leur incorporation à des pommades l'avantage de permettre la connaissance exacte de la dose absorbée. Elle a sur les injections hypodermiques celui d'éviter les piqûres et pour certains ions toxiques et très peu diffusibles, de limiter leur action à l'endroit de leur pénétration. Ainsi l'ion cocaïne introduit électrolytiquement produit une anesthésie absolument limitée à la surface d'application de l'électrode. Il semble qu'il pénètre dans les plasmas cellulaires et non dans la circulation, comme avec les

solutions injectées. Il n'y a pas à craindre, par suite, d'accident toxique.

Comme l'exprime le professeur Ch. BOUCHARD (1) dans son mémoire présenté au congrès du Caire : « les Tendances nouvelles de la Thérapeutique », dans toutes les maladies locales et même les maladies générales à manifestations locales, on tend à donner la priorité au traitement local sur le traitement général. Aujourd'hui, on traite *in situ* la teigne et le lupus, jadis on les combattait surtout par les toniques et les dépuratifs. — M. LEDUC dit : « Il est difficile de se représenter combien paraîtra absurde à l'avenir la conduite actuelle par laquelle, pour agir sur une région très limitée du corps, pour guérir un tissu grossier, nous répandons dans tout le corps une substance nocive, particulièrement nuisible aux tissus les plus délicats, les plus importants, comme ceux des centres nerveux. Ce doit être un des buts de la médecine de remplacer, toutes les fois que cela est possible, les traitements généraux par des traitements locaux » (122).

D'après ces principes, le professeur BOUCHARD chercha à combattre les manifestations locales de la polyarthrite fébrile par des injections sous-cutanées *loco dolenti* et même intra-articulaires de salicylate de Na; il obtint de bons résultats. Il traita de même des sciatiques, du zona, des pleurésies au dé-

(1) Ch. BOUCHARD. Les Tendances nouvelles de la Thérapeutique. (*Presse médicale*, 31 décembre 1902).

but; des doses minimales de mercure et d'iode injectées localement firent disparaître en quelques jours des gommages rebelles, des condylomes profondément ulcérés.

Les doses nécessaires à la guérison sont infiniment moins élevées que par l'emploi du traitement général : « Il est exceptionnel, dit le Professeur Bouchard, qu'une fluxion articulaire ne soit pas supprimée par l'injection de 0,10 ou de 0,20 centigrammes de salicylate de soude en solution dans deux à quatre centimètres cubes d'eau... En cas de rhumatisme articulaire aigu, un homme du poids de 60 kilos, qui reçoit chaque jour par la bouche six grammes de salicylate de soude, voit chacune de ses arthrites disparaître. On a fait pénétrer chaque jour dix centigrammes de médicament dans chaque kilogramme de son corps, dans chaque kilogramme de substance saine comme dans chaque kilogramme de substance malade. Si, dans une grande articulation, les parties malades qui sont le siège du travail morbide pèsent 50 à 100 grammes, c'est à des doses de cinq à dix milligrammes qu'est due la guérison de chaque lésion locale. »

Or, pour remplacer les traitements généraux par les traitements locaux, la méthode électroionique offre des ressources que ne présente aucune autre médication. On peut saturer les cellules de la peau exactement au degré et à la profondeur que l'on veut

avec toutes les substances électrolytiques. La pénétration est plus intime, la répartition plus égale. Pour la plupart des ions, sauf ceux qui, comme le Cl ou l'iode, sont très diffusibles, le passage dans la circulation et l'élimination se font plus lentement qu'après une injection hypodermique. L'action topique s'exerce donc plus longtemps.

Les effets locaux des ions varient non seulement avec chaque ion, mais avec les doses d'un même ion. Chaque ion exige à ce point de vue une étude spéciale. Des actions caustiques diverses, antiseptiques, coagulantes, vasculaires, modificatrices de la sensibilité, de la conductibilité, de la vitalité, etc..., sont susceptibles d'application.

L'influence résolutive sur les formations scléreuses et cicatricielles est une des actions les plus constantes des traitements électrolytiques. Certains auteurs l'attribuent aux effets interpolaires, indépendants des solutions médicamenteuses employées. Cependant, on l'obtient plus facilement sous la cathode. Il est dès lors permis de supposer que la pénétration des ions négatifs,  $\bar{\text{Cl}}$ ,  $\bar{\text{I}}$ ,  $\text{C}^{7-}$ ,  $\text{H}^{6-}$ ,  $\text{O}^{3-}$ , joue un certain rôle. Au point de vue chimique, ce sont des radicaux acides; peut-être l'introduction de ces radicaux acides est-elle un facteur important de sclérololyse.

Ces ions étant peu toxiques, on pourra porter l'in-

tensité du courant jusqu'à la limite de tolérance du malade, employer de vastes électrodes, et faire des séances de 30 à 60 minutes, deux ou trois fois par semaine.

L'ion  $\overline{\text{Cl}}$  a été plus souvent introduit que l'ion  $\overline{\text{I}}$ . Cependant, avec ce dernier, M. le professeur LEDUC a obtenu des résultats très satisfaisants, surtout contre les ankyloses consécutives aux arthrites fongueuses. Il a été employé chez les trois malades dont nous rapportons les observations à la fin de ce travail.

Aussi, avons-nous cru intéressant de faire quelques expériences pour déterminer :

1° La sensibilité de différents procédés de recherche de l'ion iode;

2° La vitesse relative de l'ion iode et de l'ion sodium (c'est celui que l'on introduit le plus souvent à l'anode pendant que l'ion iode pénètre à la cathode, car la solution dont on imprègne l'électrode indifférente est habituellement faite avec du chlorure de sodium). La connaissance de cette vitesse relative permettra le dosage exact de l'iode introduit ;

3° Les modifications apportées à la peau par l'introduction électrolytique de l'iode ;

4° Le mode et la durée de l'élimination de l'iode introduit ;

5° La vitesse absolue de l'ion iode dans les solutions colloïdales.

## CHAPITRE IV

### Recherche de l'ion iode.

L'iode à l'état d'ion ne possède pas les mêmes propriétés physiques et chimiques que l'iode à l'état d'élément : l'ion iode est incolore, les nombreux ions iode que renferme une solution d'un iodure alcalin ne feront pas prendre à l'empois d'amidon la coloration bleu-violet caractéristique que lui donne l'iode-élément.

C'est donc à cet état qu'il faudra ramener l'iode pour déceler sa présence dans un liquide; autrement dit, on devra enlever à l'ion sa charge électrique.

Deux procédés permettent d'y arriver :

1<sup>er</sup> PROCÉDÉ. — Mettre en présence des éléments comme le chlore ou des radicaux comme  $\text{AzO}^3$ , meilleurs conducteurs que les ions iode de l'électricité, et par suite susceptibles de s'emparer de leurs charges négatives, pour passer à l'état d'ions  $\text{Cl}$  ou d'ions  $\text{AzO}^3$  pendant que l'iode se dégagera à l'état d'élément.

2<sup>e</sup> PROCÉDÉ. — Electrolyser la solution à analyser.

En arrivant à l'anode, les ions iode perdent leurs charges négatives.

Une fois ramené à l'état neutre par l'un de ces deux procédés, ses réactions colorées permettent de déceler l'iode.

En pratique, on peut opérer de la façon suivante :

Prendre un petit carré de papier amidonné de 3 cm. de côté environ, et faire tomber dessus quelques gouttes de la solution à étudier, puis une ou deux gouttes d'eau chlorée ou d'acide azotique fumant (si l'on emploie le premier procédé). Dans ce cas, autour de l'endroit où sont tombées ces dernières gouttes, il se formera un anneau violet plus ou moins coloré et plus ou moins large quand la réaction sera positive.

Pour pratiquer le second procédé, l'électrolyse, il faut tenir deux électrodes en fil de platine, préalablement flambées, à quelques millimètres l'une de l'autre sur le papier amidonné, imbibé de la solution.

Si elle renferme de l'iode, une tache violette se formera à l'anode.

Nous avons recherché la sensibilité de ces différentes réactions :

Dans un tube à essai, un centimètre cube d'une solution au 1/100 de KI ou de NaI (les résultats ont été les mêmes avec les deux sels) est additionné de 9 cmc. d'eau distillée ; ce qui nous donne une solution au 1/1000°.

Un centimètre cube de cette solution au  $\frac{1}{1000}$  est placé dans un 2<sup>e</sup> tube à essai, et additionné de 9 cmc. d'eau distillée ; ce qui nous donne une solution au  $\frac{1}{10.000}$ .

En continuant ainsi, on obtient dans le 5<sup>e</sup> tube une solution au  $\frac{1}{10.000.000}$ .

L'expérience a montré qu'il est inutile d'aller plus loin.

Cela fait, nous posons sur des plaques de verre bien lavées 5 rangées de 3 morceaux de papier amidoné ayant chacun 9 cmq. Puis nous versons sur chaque papier d'une rangée 10 gouttes de la même solution, en commençant par la plus étendue, celle du 5<sup>e</sup> tube. Sur l'un des trois, nous faisons tomber 2 gouttes d' $\text{AzO}^3\text{H}$  fumant, sur le second, 2 gouttes d'eau chlorée, sur le dernier nous faisons agir l'électrolyse, de la façon décrite plus haut.

Nous répétons les mêmes opérations avec la solution contenue dans le 4<sup>e</sup> tube, et ainsi de suite.

Voici les résultats toujours obtenus :

|                                              | Electrolyse                                                                          | Acide azotique                                                | Eau chlorée                                                         |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 5° Tube<br>Solution au<br>dix<br>millionième | Rien                                                                                 | Rien                                                          | Rien                                                                |
| 4° Tube<br>Solution au<br>millionième        | Rien                                                                                 | Rien                                                          | Rien                                                                |
| 3° Tube<br>Solution au<br>cent millième      | L'anode est en-<br>tourée d'une raie<br>violette bien mar-<br>quée.                  | Rien                                                          | Rien                                                                |
| 2° Tube<br>Solution au<br>dix millième       | La coloration<br>apparaît plus ra-<br>pidement et est<br>beaucoup plus in-<br>tense. | Coloration<br>violet pâle.                                    | Coloration<br>moins mar-<br>quée qu'avec<br>AZO <sup>3</sup> H.     |
| 1° Tube<br>Solution au<br>millième           | Tache très co-<br>lorée, s'étendant<br>rapidement.                                   | Teinte plus<br>foncée qu'avec<br>la solution pré-<br>cédente. | Teinte plus<br>foncée, mais<br>moins que<br>par AZO <sup>3</sup> H. |

C'est donc entre la dilution au  $\frac{1}{100.000}$  et une di-  
lution dix fois plus forte qu'apparaît la coloration  
par l'électrolyse.

Pour obtenir plus de précision, il suffit maintenant  
de prélever 1 cmc. dans le troisième tube et de  
l'additionner successivement de 1, 2, 3, 4, etc., cen-  
timètres cubes d'eau distillée, de façon à obtenir des  
solutions au  $\frac{1}{200.000}$ ,  $\frac{1}{300.000}$ ,  $\frac{1}{400.000}$ ,  
 $\frac{1}{500.000}$ , etc...

On peut alors constater avec la solution au  $\frac{1}{400.000}$  l'apparition sur le papier amidonné d'une très mince ligne violette autour de l'extrémité de l'électrode en platine. Avec la solution au  $\frac{1}{500.000}$  on n'obtient plus rien.

De la même façon, on constate la disparition de toute coloration par  $\text{AzO}_3$  avec une solution au  $\frac{1}{80.000}$ ; au  $\frac{1}{70.000}$  il y en a encore une surtout apparente au verso. L'eau chlorée ne donne plus rien au  $\frac{1}{50.000}$ .

En résumé, en opérant sur 10 gouttes de liquide, la méthode électrolytique permet de déceler l'ion iode dans une solution ne renfermant que 0 gr. 0025 d'iodure par litre d'eau distillée. Le premier procédé, pour donner un résultat positif, nécessite une concentration beaucoup plus forte, environ 0 gr. 05 par litre.

Il y a maintenant deux choses à remarquer :

1° Nous avons opéré sur 10 gouttes. Or, si, dans dix centimètres cubes de la solution au millionième (4<sup>e</sup> tube à essai), on verse quelques gouttes d'acide azotique et de chloroforme, on voit, après agitation, le chloroforme légèrement teinté en rose se rassembler au fond du tube. On n'obtient plus cette coloration avec la solution au dix-millionième (tube 5)

2° Nous nous sommes servi, dans les expériences précédentes, de solutions d'iodures dans l'eau

distillée. Or, les liquides de l'organisme, sur lesquels en pratique porteront les recherches, renferment des ions variés, le Cl entre autres. Est-ce que leur présence ne nuirait pas à la sensibilité des procédés qui permettent de déceler l'iode ?

La réponse est facile : il suffit de répéter les expériences précédentes en remplaçant l'eau distillée par une solution de chlorure de sodium. C'est ce que nous avons fait en employant une sol. de NaCl à 1/100. On constate alors que la sensibilité des procédés chimiques n'est pas modifiée, celle de l'électrolyse au contraire diminue : on ne décele plus l'iode dans la solution au 100.000<sup>e</sup>, et pour les dilutions moindres la coloration est moins prononcée. Autour de l'anode de platine, il se forme une tache blanche rappelant celle de la goutte de Cl ou d' $\text{AzO}^3\text{H}$  et c'est autour de cette tache que se montre la coloration violette.

On peut s'assurer aussi que plus la proportion de chlorure de Na est forte, plus la sensibilité de l'électrolyse s'affaiblit. Elle finit par être égale seulement aux autres procédés.

De sorte que cette méthode n'aura aucun avantage quand il s'agira d'examiner un liquide comme l'urine, qui contient une forte proportion de chlorures ; pour la salive, au contraire, qui est très peu salée, ce sera le procédé de choix.

On peut expliquer ce résultat de la présence de l'ion Cl de la façon suivante : s'il est en grande

quantité par rapport à I, comme il est en outre meilleur conducteur, lui seul se dirigera vers l'anode ; le Cl élément mis en liberté réagira à son tour sur l'ion iode comme le Cl élément de l'eau chlorée.

D'un autre côté, pour expliquer ce fait que la coloration violette n'apparaît qu'autour de l'endroit où sont tombées les gouttes du réactif chloré ou azotique, il faut remarquer qu'un excès de ces réactifs fait disparaître la coloration obtenue. C'est surtout vrai pour le Cl (la coloration que donne l'iodure au chloroforme est enlevée très rapidement par l'addition de quelques gouttes d'eau chlorée).

A l'endroit où tombent les gouttes sur le papier, il y a excès de réactif, donc pas de coloration ; il y a coloration sur les bords parce que, là, un certain nombre d'ions I ont été déchargés par un nombre égal d'éléments Cl amenés sans excès par diffusion. La diffusion s'accroissant, leur nombre devient excessif, la coloration disparaît là où elle existait ; la tache blanche s'agrandit.

On comprend aussi facilement pourquoi l'électrolyse est le procédé le plus sensible pour mettre I en évidence quand la solution iodurée est pure. En effet, il n'y aura jamais excès de réactif : quand il n'y aura plus d'ion, le courant ne passera plus.

## CHAPITRE V

### Vitesses relatives des ions (iode et sodium) Dosage de l'ion iode.

FARADAY découvrit, en 1833, que, pour tous les ions, chaque équivalent chimique, ou plus exactement chaque valence transportait la même quantité d'électricité : 96.537 coulombs. Ainsi, dans une solution électrolytique, 1 gr. d'hydrogène, 23 gr. de sodium, 39 gr. de potassium, 35 gr. 5 de chlore, 126 gr. d'iode portent les mêmes charges électriques, positives ou négatives.

Il énonça les lois suivantes :

Pour dégager aux électrodes une molécule-gramme (1) d'un radical quelconque, il faut 96.537 coulombs par valence de ce radical.

Les poids des anions et des cations dégagés aux électrodes sont chimiquement équivalents. Ex. : par l'électrolyse de l'iodure de sodium 96.537 coulombs

(1) La molécule-gramme est le chiffre affecté du mot gramme qui exprime le poids moléculaire d'un corps quelconque par rapport à celui de l'hydrogène : 2.

mettront en liberté 126 gr. d'iode à l'anode et 23 gr. de sodium à la cathode.

Chaque équivalent chimique  $E$  transportant 96.537 coulombs, un coulomb est transporté pour chaque ion par  $\frac{E}{96.537}$ . Ce poids d'un ion nécessaire au transport d'un coulomb est appelé équivalent électro-chimique  $e$ .

|                              |                |
|------------------------------|----------------|
| C'est pour l'hydrogène . . . | 0 gr. 00001038 |
| — le sodium . . .            | 0 gr. 00023873 |
| — le potassium . . .         | 0 gr. 00040539 |
| — le chlore . . .            | 0 gr. 00036728 |
| — l'iode . . .               | 0 gr. 001313   |

Connaissant le nombre des coulombs (1) qui passent dans une solution électrolytique, en le multipliant par les équivalents électro-chimiques des ions de l'électrolyte, nous obtiendrons facilement le poids des ions dégagés (en supposant qu'il ne se produise pas de réaction secondaire).

Ex. : 10 coulombs (soit un courant de 0 A. 010 circulant pendant 1000 secondes) auront été chargés par 0 gr. 0001 d'hydrogène,

— 0 gr. 00238 de sodium,

— 0 gr. 01313 d'iode.

Le phénomène de l'électrolyse étant lié à un

(1) On obtient le nombre de coulombs  $Q$  en multipliant l'intensité  $I$  du courant, donnée par le galvanomètre, et mesurée en ampères, par le temps  $t$ , exprimé en secondes:  $Q = It$ .



L'une des cuves contient deux molécules de sulfate de cuivre, l'autre une seule; cependant 3 ions  $\text{SO}_4^-$  ont été libérés à l'anode et 3 ions  $\text{Cu}^+$  à la cathode.

Le rapport des degrés de concentration après l'opération permet de conclure au rapport des vitesses des ions  $\text{SO}_4^-$  et  $\text{Cu}^+$ .

Si le schéma précédent répondait exactement à la réalité, si la concentration d'une cuve était le double de celle de l'autre, le rapport des vitesses serait aussi  $\frac{1}{2}$  :  $\text{SO}_4^-$  se déplacerait deux fois plus vite que  $\text{Cu}^+$ .

Evidemment, avec le même courant, la vitesse des ions dépendra non seulement de leur nature, mais encore des obstacles opposés à leur progression. Ainsi les molécules non électrolytes sont des obstacles à la vitesse des ions : ils se déplacent plus vite dans l'eau que dans une solution de gélatine ou d'autres colloïdes. La peau ralentira la vitesse des ions et d'une grandeur différente, suivant la nature de la peau et la nature des ions. M. le Professeur LEDUC a prouvé récemment l'influence des molécules non électrolytes sur la vitesse de diffusion des ions et a montré qu'ils n'ont pas tous la même vitesse dans une solution gélatineuse de concentration déterminée. [Voir GONZALES (94)]. « De même qu'au milieu de gros obstacles les petits mobiles cheminent plus facilement, de même, au milieu des grosses

molécules gélatineuses, les petits ions, d'architecture simple, se glissent plus vite que les gros ions complexes » (LEDUC).

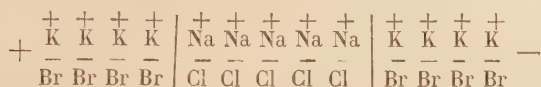
Or, la résistance électrique du corps humain, c'est-à-dire l'obstacle à la pénétration des ions, vient surtout de la peau. Sa conductibilité (inverse de la résistance  $C = \frac{1}{R}$ ) dépend du nombre des ions qu'elle renferme. Si la peau en était absolument dépourvue, elle opposerait un obstacle presque insurmontable au passage du courant. — Par l'introduction électrolytique des ions, on modifie l'état ionique de la peau en y introduisant de nouveaux ions; par suite sa résistance diminue, sa conductibilité augmente et cela proportionnellement au nombre des ions introduits sous chaque électrode.

Ce nombre diffère suivant la vitesse de pénétration de chacun des ions; la résistance de la peau ne sera donc plus la même sous les deux électrodes. Si l'on connaît le rapport de ces résistances, on aura par là même le rapport des nombres et des vitesses des ions introduits.

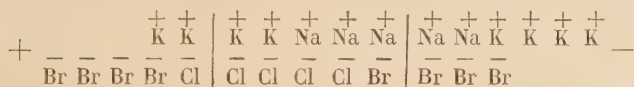
Le schéma suivant fera bien comprendre ce que nous venons de dire et le parti qu'on peut en tirer pour le dosage des ions :

Le corps étant représenté par une solution de NaCl, les électrolytes par une solution de bromure de potassium, si le cation  $K^+$  pénètre dans la peau

deux fois plus vite que l'anion  $\text{Br}^-$ , après le passage du courant, alors que trois équivalents se sont dégagés à chaque électrode, conformément à la loi de Faraday, deux ions  $\text{K}^+$  auront pénétré à l'anode, un seul ion  $\text{Br}^+$  sous la cathode.



Avant le passage du courant.

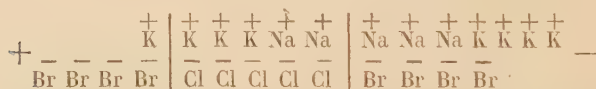


Après le passage du courant.

La somme des anions et des cathions ( $2 \text{ K}^+ + 1 \text{ Br}^-$ ) qui ont pénétré dans le corps est égale au nombre des ions dégagés à une des électrodes et de plus le rapport des quantités de ces anions et cathions est proportionnel à leurs vitesses. — La participation de chacun des ions au transport du courant à travers le corps est donnée par la fraction  $\frac{u}{u + v}$ , dans laquelle  $u$  et  $v$  représentent les vitesses des deux ions. Ainsi, dans le schéma précédent, où le rapport des vitesses est  $\frac{2}{1}$ , nous avons pour  $\text{K}^+$  une participation au mou-

vement de l'électricité égale à  $\frac{2}{2+1} = \frac{2}{3}$  et pour l'ion  $\text{Br}^-$  à  $\frac{1}{1+2} = \frac{1}{3}$ .

Nous avons maintenant des données suffisantes pour établir la formule permettant de calculer le poids P de chaque ion introduit. En effet, le poids total des anions et des cations qui ont pénétré dans le corps doit être chimiquement équivalent au poids des ions dégagés à une des électrodes; supposons, dans le schéma précédent, qu'un seul ion se déplace, K, par exemple, l'ion Br restant absolument immobile; la quantité de substance introduite serait alors exactement équivalente aux poids des ions dégagés sur une électrode, car nous aurions après le passage du courant.



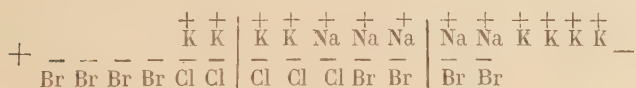
Et le poids de K serait donné par la formule

$$P = Qe.$$

où Q représente le nombre de coulombs (= It) et e l'équivalent électrochimique du potassium donné par les tables (0 milligr. 40539) (1).

(1) En réalité, le cas où un seul ion participe au transport du courant se présente peut-être pour les ions qui, à leur entrée, déterminent par réaction secondaire un précipité : comme l'ion permanganique qui, à son entrée, attaque les tissus et donne lieu à la production de bioxyde de manganèse insoluble qui remplit les glandes. Le courant est alors uniquement formé par la sortie des cations de l'organisme [Leduc (92)].

Si, au contraire, comme nous l'avions d'abord supposé, les deux ions participent au passage du courant et si  $\overset{+}{K}$  pénètre 2 fois plus vite que  $\overline{Br}$ , il faudra multiplier le produit  $Qe$  par  $\frac{u}{u+v}$  pour avoir le poids de l'ion de vitesse  $u$  ayant participé au transport de l'électricité et par  $\frac{v}{v+u}$  pour avoir le poids de l'ion de vitesse  $v$ . — Si  $u$  est égal à  $v$  (c'est-à-dire si  $\overset{+}{K}$  a la même vitesse que  $\overline{Br}$ ) le facteur de correction devient  $\frac{1}{2}$  et la quantité de substance introduite dans les tissus est le demi-équivalent de celle qui se dégage à chaque électrode.



$4 \overset{+}{K}$  se sont dégagés à la cathode,  $4 \overline{Br}$  à l'anode pendant que, dans le corps, deux  $\overset{+}{K}$  ont pénétré sous l'anode, et 2  $\overline{Br}$  sous la cathode.

Dans la formule ainsi établie.

$$P = Qe \left( \frac{u}{u+v} \right)$$

Nous connaissons  $Q$  et  $e$  :  $Q$  se calcule en multi-

pliant l'intensité du courant (exprimée en ampères) par la durée de l'introduction (exprimée en secondes); *e* se trouve dans les tables. Il nous manque le rapport des vitesses des deux ions introduits, et sa connaissance est nécessaire pour un dosage exact.

M. le professeur LEDUC a établi une méthode permettant de calculer ce rapport. [Voir: Leduc (81) — GONZALES QUIJANO SANCHEZ (91).] Nous l'avons employée pour mesurer les vitesses relatives de l'ion  $\bar{\text{I}}$  et de l'ion  $\text{Na}^+$ , qui pénètrent dans les tissus quand on a une solution d'un sel de sodium à l'anode, d'un iodure à la cathode. Rappelons brièvement la technique :

Autour du mollet, nous enroulons 16 épaisseurs d'une bande de tissu de coton hydrophile large de 10 cm. et imprégnée d'une solution de chlorure de potassium à  $\frac{1}{100}$ . Par-dessus, nous plaçons une pla-

que d'étain soudée à un réophore, et le tout est convenablement serré par une bande. — Puis nous entourons complètement la face antérieure de l'avant-bras d'une feuille de taffetas gommé percée d'un orifice de 9 cmq que l'on place à la face antérieure du membre. Par-dessus on enroule encore 16 épaisseurs de tissu, imbibé d'une solution d'iodure de sodium à 1 p. 100. Le tout est recouvert d'un disque d'étain soudé à l'autre réophore, et convenablement serré

par une bande. — La force électromotrice, fournie par des accumulateurs ou le courant urbain, sera maintenue à 6 volts pendant toute la durée de l'expérience (on intercalera pour cela dans le circuit un réducteur de potentiel en tension et un voltmètre en dérivation). On place encore dans le circuit un milliampéremètre aperiodique sensible au  $\frac{1}{5}$  de milliampère et un renverseur de courant.

La résistance sous l'électrode indifférente, celle du mollet, qui a plus de 300 cmq, est négligeable par rapport à celle de la peau sous la petite électrode. Les autres résistances du circuit n'étant pas modifiées par le passage du courant, les variations d'intensité marquées par le milliampéremètre dans les conditions de l'expérience seront dues uniquement aux variations de résistance de la peau sous la petite électrode.

Tout étant ainsi disposé, nous fermons le circuit à l'aide de l'interrupteur-renverseur juste au moment où la trotteuse à secondes de notre montre marque le commencement d'une minute: l'intensité marquée par le milliampéremètre est aussitôt notée.

Elle s'élève rapidement dans les premières minutes: nous notons ses variations toutes les 15 secondes pendant la première minute; au commencement, au milieu et à la fin de la deuxième minute, puis à

la fin de chaque nouvelle minute, tant que durera l'opération.

De plus, à partir de la 16<sup>e</sup> minute, nous renversons le courant toutes les 5 minutes.

Nous arrêtons l'expérience quand les intensités obtenues pour chaque ion restent les mêmes après deux renversements.

Prenant alors un papier quadrillé, nous portons les temps en abscisses (5 minutes pour 4 divisions) et les intensités en ordonnées (1 milliampère pour 5 divisions). Nous marquons pour chaque intensité enregistrée un point correspondant à la fois au temps et au nombre de milliampères; nous réunissons ces points par une ligne; et nous obtenons ainsi le graphique du corps en expérience.

Nous reproduisons ici celui que nous avons obtenu avec l'iodure de sodium (fig. 1):

La courbe débute par l'anode comme électrode active: c'est alors l'ion sodium qui est introduit. La résistance du corps diminue dans les premières phases de l'introduction, puisque l'intensité du courant augmente. C'est là un phénomène commun à toutes les introductions d'ions.

Après le premier renversement, à la fin de la quinzième minute, c'est l'ion iode qui pénètre, car la petite électrode devient la cathode.

Nous obtenons d'abord une brusque élévation d'intensité suivie d'une chute rapide après laquelle

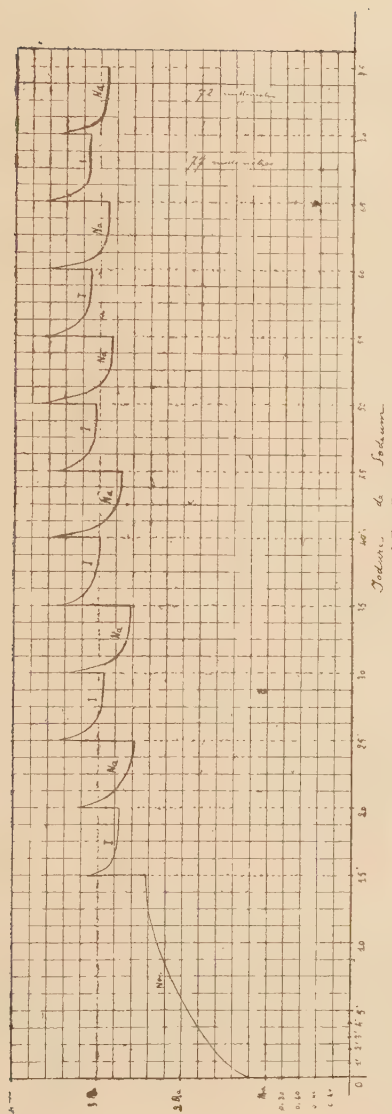


Fig. 1. — Courbe permettant de connaître les vitesses relatives des ions iode et sodium (les hauteurs mesurées à droite, 77 et 72 mm., sont celles de la courbe manuscrite)

le nombre de milliampères reste à peu près le même jusqu'à la fin des 5 minutes.

Avec l'iode, il est un peu plus élevé qu'avec le sodium. Les brusques élévations (crochets de la courbe) se reproduisent à chaque renversement du courant: elles ne nous intéresseront pas, car elles sont dues à des phénomènes de polarisation des tissus. (M. LEDUC s'en est assuré par un procédé qu'il est inutile de rapporter ici.)

Les parties horizontales de la courbe sont dues, au contraire, au passage des ions. Elles sont d'autant plus élevées que l'intensité du courant est plus forte; or, d'après les explications données plus haut, dans les conditions de l'expérience, l'intensité augmente avec le nombre des ions introduits et c'est là la seule cause de son augmentation. Nous savons en outre que ce nombre dépend pour chaque ion de sa vitesse d'introduction. Autrement dit : en représentant par  $i$  et  $i'$ ,  $r$  et  $r'$ ,  $n$  et  $n'$ ,  $h$  et  $h'$  les intensités, les résistances, les nombres et les hauteurs de la courbe correspondant à chaque ion, nous avons :

$$\frac{i}{i'} = \frac{r'}{r} = \frac{n}{n'} = \frac{h}{h'}$$

Mais, pour établir ces rapports, il ne faudrait pas prendre les nombres obtenus après deux ou quatre renversements : on devra, comme nous l'avons fait, continuer les renversements jusqu'à reproduction

des mêmes intensités lors de deux introductions consécutives du même ion.

Seulement alors, la conductibilité de la peau est devenue constante pour l'ion considéré. L'introduction d'autres ions de même nature ne la modifiera pas. Cela conduit à admettre que la peau est saturée de ces ions et en élimine autant vers les tissus sous-jacents qu'il en pénètre à sa surface.

Dans ces conditions, la conductibilité de la peau est proportionnelle à la vitesse des ions. Sur notre graphique, c'est après le 11<sup>e</sup> renversement que nous obtenons pour l'ion iode la même intensité, 3 Ma 10, qu'à l'introduction précédente de cet ion. — Au renversement suivant, avec l'ion  $\text{Na}^+$  l'intensité obtenue est de 2 Ma 90, comme à l'introduction précédente.

Le rapport des vitesses des ions iode et sodium est donc

$$\text{rapport des intensités } \frac{3,10}{2,90} = \frac{77}{72} \text{ (rapport des hauteurs).}$$

Pour doser l'ion iode introduit quand l'ion sodium pénétrera à l'anode on devra donc multiplier le quotient ( $Q \times 1 \text{ milligr. } 313$ ) par la fraction de correction

$$\frac{77}{77 + 72} = \frac{77}{149}.$$

Cet ion n'étant pas toxique, il n'y aura pas d'inconvénient à remplacer cette fraction par  $\frac{1}{2}$ .

Une remarque pour terminer ce chapitre : M. le

professeur LEDUC a établi que la résistance de la peau dépend, contrairement aux opinions admises :

- 1° De la nature de l'ion introduit ;
- 2° Du degré de saturation de la peau par cet ion ;
- 3° Du voltage ;
- 4° De l'endroit de la peau où cette résistance est mesurée ;
- 5° Des dimensions des électrodes ;

Et les mesures ne peuvent être comparables si ces conditions ne sont pas les mêmes. [Voir LEDUC (114) ; FRADIN (119)]. — Or, pour nos mesures des intensités dans l'expérience précédente, les 4 dernières conditions sont remplies :

1° Nous avons pris pour établir notre rapport les intensités marquées par le milliampèremètre quand la peau fut saturée de chacun des ions ;

2° Le voltage a été maintenu constamment à 6 volts en agissant sur la manette du réducteur de potentiel ;

3° L'endroit de la peau où l'on a introduit chaque ion était le même ;

4° La même électrode, donc mêmes dimensions.

La première condition seule n'était pas remplie puisque la nature de l'ion introduit changeait après chaque renversement.

Les variations de résistance constatées sont donc uniquement dues à la nature de ces ions, à leurs vitesses différentes.

Au surplus, des recherches précédentes (GONZALÈS)

(91) nous l'ont appris, si les différents individus n'ont pas les mêmes conductibilités pour un même ion, les rapports des conductibilités entre différents ions présentent chez tous les sujets une constance remarquable.

Le rapport établi en opérant sur nous-même serait à peu près le même chez d'autres.

Il peut donc être utilisé dans la pratique.

## CHAPITRE VI

### Modifications de la peau par le passage de l'ion iode

D'après les expériences de M. LEDUC sur la résistance du corps (114, 119), dont nous avons donné les conclusions, la conductibilité de la peau ne dépend ni de l'imprégnation liquide, ni de son degré de vascularisation : avec des électrodes de mêmes dimensions, appliquées aux mêmes endroits, le voltage et l'ion introduit étant aussi les mêmes, si l'état ionique de la peau ne varie pas, la mesure de sa résistance donnera toujours le même nombre d'ohms.

Cet état se modifiant pendant l'introduction électrolytique d'un ion, la résistance varie jusqu'à saturation de la peau ; à partir de ce moment, elle devient invariable, et c'est alors, si l'on veut obtenir des mesures comparables, qu'il faut la calculer d'après la formule  $R = \frac{E}{I}$ . (C'est ce que nous avons fait, pour obtenir le rapport des vitesses des ions iode et sodium.)

Cette modification persiste plus ou moins longtemps suivant l'ion introduit, suivant sa diffusion plus ou moins rapide dans les tissus sous-jacents et les changements plus ou moins profonds amenés par son passage, dans la constitution chimique de la peau.

Par suite, la conductibilité de la peau ne sera plus la même lors d'une introduction ionique ultérieure faite à la même place.

Nous avons pu le constater au cours de nos expériences : pour établir le rapport des vitesses de l'ion iode et de l'ion sodium, nous avons fait plusieurs tracés, obtenus par le procédé décrit plus haut, à quelques jours d'intervalle, et en opérant chaque fois au même endroit de la peau, sur la face antérieure de l'avant-bras gauche. Les rapports furent toujours les mêmes ; aussi une seule courbe a été reproduite, celle qui constituait en quelque sorte la moyenne. Mais si les rapports étaient les mêmes, les intensités absolues étaient chaque fois très différentes.

Ainsi, lors de notre première recherche, au début de l'introduction du  $\text{Na}^+$ , la résistance était très élevée puisque le milliampèremètre marquait seulement 0 ma. 9, par le passage de l'iode, après le premier renversement, l'intensité devint 1ma. 60. La saturation fut obtenue après 80 minutes ; les intensités étaient alors 1ma. 85 pour  $\text{Na}^+$  et 2 ma. pour  $\text{I}^-$ .

La seconde fois nous avons les intensités reproduites dans la courbe. Elles sont déjà plus élevées. La troisième fois  $\overset{+}{\text{Na}}$  donne 1 ma. 60 au début et  $\bar{\text{I}}$  3 ma. 25. A saturation, après 45 minutes, les intensités sont à peu près les mêmes lors du passage de l'un ou de l'autre de ces deux ions : 4 ma. 45 et 4 ma. 50.

Dans ces conditions, les variations de conductibilité constatées pouvaient être attribuées à l'action combinée des deux ions sur les éléments histologiques.

Pour connaître la modification apportée par des introductions successives de l'ion iode, il fallait l'introduire seul. Dans ce but, nous avons repris le dispositif décrit pour la mesure des vitesses relatives, en supprimant le renverseur devenu inutile et en mettant la cathode à l'avant-bras droit, où nous n'avions encore fait aucune introduction ionique.

Dans ces conditions, nous avons fait trois mesures à 2 jours d'intervalle les unes des autres. Chaque fois l'introduction de l'ion  $\bar{\text{I}}$  durait une heure. A la troisième séance, les chiffres obtenus furent presque exactement les mêmes qu'à la deuxième. Mais les résultats différaient sensiblement aux deux premières; nous les avons mis en évidence par les deux graphiques ci-contre. Sur chacun, les temps sont portés en abscisses (2 minutes par division), les

intensités et les résistances en ordonnées (1 milliam-père et 2000 ohms par 5 divisions). — Les résis-tances sont calculées d'après les intensités par la formule  $R = \frac{E}{I} = \frac{6 \text{ volts.}}{I}$

A la première introduction, sitôt après la ferme-ture du courant,  $I = 0$  ma 60, correspondant pour le voltage employé à une résistance de 10.000 ohms  $\left(\frac{6}{0,0006}\right)$ . Une heure après,  $I = 2$  ma 90 et  $R = 2,068$  ohms.

Ces chiffres, d'ailleurs obtenus depuis plusieurs minutes, étaient devenus invariables; la peau était saturée.

La seconde fois,  $I = 0,85$  au début, 3 ma 20 à la fin;  $R = 7.000$  ohms et 1.875 ohms.

La troisième fois  $I = 0,90$  et 3 ma 15;  $R = 6,666$  et 1900 ohms.

Malgré sa grande diffusibilité, l'ion iode introduit électrolytiquement produit dans la constitution de la peau des modifications telles que sa résistance soit considérablement diminuée, que le nombre d'ions pouvant l'imprégner avant de la saturer soit très augmenté.

Aussi bien, nous avons pu constater sur notre peau, au cours de ces recherches, des modifications morphologiques très nettes:

Avant la seconde introduction de l'ion iode, par

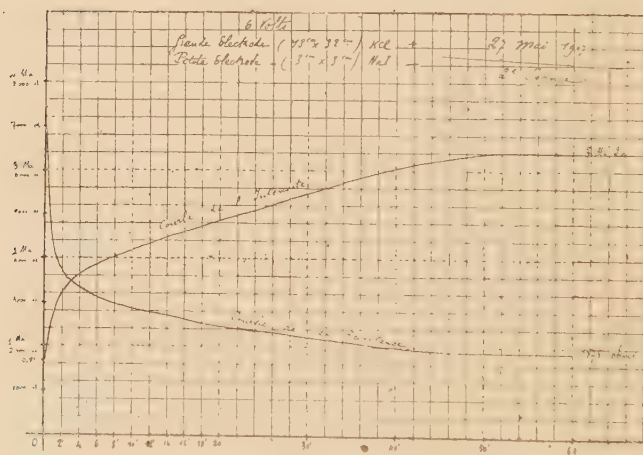
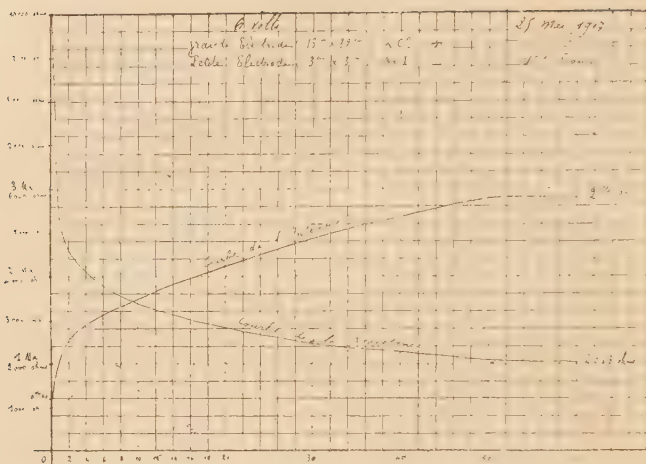


Fig. 2 et 3. — Courbes montrant la diminution de la résistance de la peau lors d'une seconde introduction de l'ion iode, faite au même endroit deux jours après la première.

conséquent 48 heures après la première, sur la face antérieure de l'avant-bras droit, à l'endroit où avait pénétré l'ion iode, il était facile de voir un petit carré tégumentaire dont la coloration différait de la coloration environnante (fig. 2 et 3).

Elle était plus rose, parsemée de points rougeâtres légèrement surélevés et correspondant aux glandes congestionnées. Les jours suivants, la teinte devint jaune verdâtre, comme à la suite d'une ecchymose légère; et après une légère desquamation furfuracée, le retour à l'état normal se fit très lentement.

Evidemment, l'évolution de ces modifications est beaucoup plus rapide qu'après l'introduction d'ions non diffusibles, comme l'ion permanganique; on les voit alors persister pendant des semaines et des mois [GONZALÈS (91)].

Quant aux brûlures produites à la cathode lors de l'introduction de l'iode, nous avons pu nous rendre compte de l'extrême lenteur de leur guérison. La malade de notre observation III eut sur le genou traité, après la première séance d'électrolyse, plusieurs escarres molles, grisâtres, et deux ou trois phlyctènes ayant à peu près les dimensions d'une pièce de 50 centimes et remplies d'une sérosité teintée en jaune brun, rappelant la coloration d'une solution très étendue d'iode dans l'eau. Cette femme, une campagnarde à sensibilité et intelligence un peu

obtuses, avait cependant été prévenue des sensations qu'elle éprouverait, et de la nécessité d'accuser les douleurs trop fortes ou localisées. — La séance dura trois quarts d'heure avec une intensité moyenne de 60 milliampères. — Après la constatation de l'accident, la malade nous avoua avoir bien ressenti une légère brûlure, mais elle n'avait pas trouvé la sensation assez insupportable pour le dire.

Les deux ou trois premiers jours nous appliquâmes des pansements secs à la gaze stérilisée; l'aspect des lésions se modifia tout d'abord assez rapidement; autour de chacune se forma un cercle rouge vineux, d'un centimètre ou deux d'étendue, les phlyctènes et les escarres devinrent sanguinolentes, puis se desséchèrent rapidement. Nous fîmes alors, avant chaque nouvelle séance d'ionisation, 2 fois par semaine, une simple occlusion par une couche de collodion riciné; et cela nous permit de ne pas interrompre le traitement. Il n'y eut jamais la moindre trace de suppuration; mais aujourd'hui encore, près de trois mois après la brûlure, la peau n'a pas repris son aspect normal, et nous continuons toujours les applications de collodion. Il n'y a plus de congestion à la périphérie des lésions, mais, à leur niveau, une coloration violette très intense marque leur place, et ne semble pas prête à disparaître. A noter que la malade n'a jamais éprouvé ni douleur, ni démangeaison, et, malgré des intensités beaucoup plus

élevées obtenues dans des séances ultérieures, jamais il ne se produisit de nouvelle brûlure. Ces brûlures avaient été produites parce que le tissu de l'électrode n'était pas assez épais et sa pression sur la peau n'était pas bien uniforme. L'expérience acquise fut profitable (1).

(1) On trouvera, dans le numéro du 20 avril 1907 de *la Presse médicale*, trois courbes tracées par MM. DESFOSSES et MARTINET, et montrant la diminution progressive de la résistance sous l'influence d'introductions successives de l'ion salicylique.

## CHAPITRE VII

### Élimination de l'Iode introduite électrolytiquement

Dans un récent article, M. DOUMER écrivait : « Il est un peu enfantin de chercher à démontrer l'introduction des ions, car on ne peut pas ne pas les introduire. » Peut-être y a-t-il là une exagération : la démonstration d'un phénomène tour à tour soupçonné, nié, ou mal interprété pendant de si longues années, et dont la connaissance exacte est si rapprochée, n'a certes pas encore perdu toute utilité.

Jusqu'à présent, nous avons admis, d'après les lois de l'introduction électrolytique des ions, le passage de l'iode dans l'organisme quand la solution d'iodure était placée à la cathode ; mais nous n'avons donné aucune preuve directe de cette absorption. Non seulement les expériences suivantes apporteront cette preuve (ce serait, si l'on veut, un maigre résultat), mais elles feront voir la grande quantité d'iode qu'il est possible d'administrer par ce procédé, et nous permettront, par la connaissance de la durée de son

élimination, de dire la fréquence et l'intensité à donner aux séances d'ionisation pour laisser les tissus malades sous l'influence continue du médicament.

Après un bain prolongé dans une eau renfermant 100 grammes d'iodure de potassium, RABUTEAU ne constata pas trace d'iode dans l'urine ; toutefois, en réitérant les bains, on peut, au bout d'un certain temps, déceler des traces de principe actif dans l'organisme.

Malgré cela, NOTHNAGEL et ROSSBACH nient toute absorption cutanée de la solution d'iodure et affirment que, si l'on a soin de mettre à l'abri de l'eau toutes les muqueuses, et que l'air servant à la respiration ne soit pas celui de la chambre, mais de l'air amené de l'extérieur, aucune trace d'iode n'est absorbée, même après plusieurs heures. Quant aux pommades à l'iodure de potassium, elles peuvent laisser pénétrer un peu d'iode, parce qu'une petite quantité d'iodure est décomposée par les acides gras de la peau(1).

Après ces expériences et celle de LAURET, dont les conclusions étaient identiques, la non-absorption de l'iodure par la peau saine nous semblait suffisamment démontrée.

Il nous suffisait donc de voir si l'absorption se faisait sous l'influence du courant électrique, et si elle variait en changeant les pôles.

Nous avons appliqué une première fois sur chaque

(1) MANQUAT, Thérapeutique, 6<sup>e</sup> édition, Paris, 1903.

mollet une électrode constituée par 16 épaisseurs de tissu de coton hydrophile; l'une, reliée au pôle positif, était imbibée de chlorure de sodium, l'autre, reliée au pôle négatif, d'iodure de potassium. Leurs dimensions étaient de 350 cq. environ.

Après avoir constaté, par électrolyse sur papier amidonné, l'absence complète de toute trace d'iode dans notre salive, nous fîmes passer le courant en élevant progressivement l'intensité. Au début, nous recommencions la recherche de l'iode dans la salive toutes les deux minutes jusqu'à l'obtention d'un résultat positif. La coloration violette apparut au bout de 14 minutes après avoir noté sur le milliampère-mètre les intensités suivantes :

|                                   |              |
|-----------------------------------|--------------|
| Moyenne des 2 premières minutes : | 20 milliamp. |
| — 2 minutes suivantes :           | 30 —         |
| — 2 — — —                         | 35 —         |
| — 2 — — —                         | 40 —         |
| — 2 — — —                         | 45 —         |
| — 2 — — —                         | 50 —         |
| — 2 — — —                         | 55 —         |

Elles donnent une moyenne de 33 ma 5 par minute.  
— Nous avons prolongé l'introduction pendant 66 minutes, aux intensités suivantes :

|                                                                      |      |
|----------------------------------------------------------------------|------|
| De la 14 <sup>e</sup> à la 16 <sup>e</sup> minute, moyenne de 60 ma. |      |
| — 16 <sup>e</sup> — 18 <sup>e</sup> — — —                            | 65 — |
| — 18 <sup>e</sup> — 21 <sup>e</sup> — — —                            | 70 — |
| — 21 <sup>e</sup> — 26 <sup>e</sup> — — —                            | 75 — |
| — 26 <sup>e</sup> — 34 <sup>e</sup> — — —                            | 80 — |

|       |     |      |     |                    |        |
|-------|-----|------|-----|--------------------|--------|
| De la | 34° | à la | 44° | minute, moyenne de | 85 ma. |
| —     | 44° | —    | 54° | —                  | 87 —   |
| —     | 54° | —    | 61° | —                  | 90 —   |
| —     | 61° | —    | 66° | —                  | 92 —   |

La moyenne générale ainsi obtenue est de 69 milliampères. — D'après ce que nous avons dit (chapitre V), la quantité d'iode introduite doit être :

$$1 \text{ mgr. } 313 \times \left( 0,069 \times 3960'' \right) \frac{77}{149} = 0 \text{ gr. } 1854.$$

Après cette séance, nous avons examiné l'urine et la salive le plus fréquemment possible, à peu près toutes les heures. Pour la salive, l'électrolyse sur papier amidonné, procédé de recherche de l'iode le plus sensible pour les solutions peu ou pas chlorurées (chapitre IV), a été choisie parmi les différents réactifs étudiés. — Pour l'urine, comme nous pouvions opérer sur des quantités de liquide relativement grandes, il était indiqué d'employer la méthode suivante : nous traitons chaque fois 10 cmc. d'urine par 2 cmc. d'acide azotique fumant et un centimètre cube de chloroforme. Voici les résultats obtenus :

L'introduction avait été terminée à 3 heures 1/2 de l'après-midi. — Aussitôt après la séance, on obtient avec la salive une coloration violette intense du papier amidonné. La réaction fournie par l'urine est elle aussi très prononcée.

Jusqu'à 8 heures du soir, l'élimination de l'iode, et, par conséquent, les colorations, s'accroissent. A 9

heures 1/2, la coloration du chloroforme par l'iode de l'urine commence à s'atténuer. A 4 heures du matin et à 5 heures 1/2 on ne peut plus y déceler la moindre trace d'iode.

Pendant ce temps, la richesse en iode de la salive est allée en augmentant, et c'est précisément à 4 h. et à 5 heures 1/2 du matin, au moment où l'urine n'en renfermait plus, que la coloration violette du papier amidonné fut la plus marquée.

A 7 heures 1/2, l'urine donne de nouveau une légère teinte au chloroforme ; elle augmente peu les heures suivantes, jusqu'à 4 h. du soir, où elle devient plus foncée, 24 heures après l'introduction. — La réaction fournie par la salive, très diminuée le matin, est restée stationnaire toute la journée. La nuit suivante, nous voyons l'urine donner une réaction douteuse, tandis que celle de la salive s'accroît. Après des alternatives de réapparition et de disparition des colorations dans l'une ou l'autre des deux sécrétions, la disparition définitive de l'iode de l'urine arrive 68 heures après la séance, tandis que l'électrolyse de la salive fait encore apparaître sur le papier amidonné une très fine ligne violette jusqu'à la 75<sup>e</sup> heure, plus de 3 jours après l'introduction.

En résumé, élimination très irrégulière et très longue, beaucoup plus longue que si l'on avait absorbé par la bouche une dose correspondante d'un iodure alcalin (voir MANQUAT). Les recherches

antérieures, sur l'élimination de l'iode des iodures, ont surtout porté, il est vrai, sur l'urine. Or nous y avons constaté la disparition de l'iode plusieurs heures avant sa disparition dans la salive. De plus, l'électrolyse sur papier amidonné, le plus sensible des réactifs, n'avait jamais été employée pour ces recherches.

Toutefois, nous avons été très surpris de trouver cette affirmation dans un numéro relativement récent d'un journal médical : « Anacleto ROMANO (89) confirme les recherches du professeur PICCININO en 1901, présence de l'iode dans les urines, et absence dans la salive, démontrant ainsi que la voie d'élimination de l'iode est le rein. »

Une constatation nous frappa d'abord beaucoup dans notre observation : ce fut l'absence d'iode dans l'urine de la nuit (4 h. et 5 h. 1/2) qui suivit l'absorption, sa réapparition au lever, tandis que l'élimination par la salive suivait une marche inverse. — Avant de rien conclure, nous fîmes une seconde expérience :

Environ quinze jours après, nouvelle introduction électrolytique de l'ion iode, faite absolument dans les mêmes conditions que la première fois : même dispositif, même moment de la journée. — Nous supportons les intensités suivantes, plus élevées qu'à l'autre séance :

|             |                      |                        |            |
|-------------|----------------------|------------------------|------------|
| Pendant les | 2 premières minutes, | moyenne de             | 20 ma.     |
| De la       | 2 <sup>e</sup> à la  | 4 <sup>e</sup> minute, | moyenne de |
| —           | 4 <sup>e</sup> —     | 6 <sup>e</sup> —       | —          |
| —           | 6 <sup>e</sup> —     | 8 <sup>e</sup> —       | —          |
| —           | 8 <sup>e</sup> —     | 10 <sup>e</sup> —      | —          |
| —           | 10 <sup>e</sup> —    | 12 <sup>e</sup> —      | —          |
| —           | 12 <sup>e</sup> —    | 14 <sup>e</sup> —      | —          |
| —           | 14 <sup>e</sup> —    | 16 <sup>e</sup> —      | —          |
| —           | 16 <sup>e</sup> —    | 20 <sup>e</sup> —      | —          |
| —           | 20 <sup>e</sup> —    | 25 <sup>e</sup> —      | —          |
| —           | 25 <sup>e</sup> —    | 28 <sup>e</sup> —      | —          |
| —           | 28 <sup>e</sup> —    | 60 <sup>e</sup> —      | —          |
|             |                      |                        |            |

L'apparition de l'iode dans la salive est manifeste après la 8<sup>e</sup> minute ; la moyenne des intensités a été jusqu'alors de 34 ma. par minute. Pour obtenir le même résultat à la première séance, il avait fallu introduire un nombre d'ions plus considérable, presque le double (33 ma. pendant 14 minutes).

La moyenne générale des intensités est de 88 milliampères 5 ; le poids d'iode introduit est :

$$1 \text{ mgr. } 313 \times 0.0885 \times 3600'' \times \frac{77}{149} = 0 \text{ gr. } 2162.$$

L'élimination se fit cette fois avec plus de régularité :

La réaction de l'urine la plus intense fut obtenue à 7 h. du soir ; jusqu'à minuit elle alla en s'affaiblissant légèrement ; puis considérablement à 4 h. et 5 h. 1/2 du matin. Au lever, elle reprend un peu d'intensité, puis diminue progressivement toute la jour-

née pour devenir négative 33 heures après l'introduction.

La coloration du papier amidonné par l'électrolyse de la salive alla en augmentant jusqu'à 11 h. du soir et resta stationnaire jusqu'au lendemain matin. Elle pâlit ensuite régulièrement, mais 49 heures après la séance, on obtenait encore une très mince ligne violette autour de l'anode de platine. Elle disparut ensuite définitivement.

De ces deux expériences, nous croyons pouvoir tirer les conclusions suivantes :

1<sup>o</sup> L'élimination de l'iode par la salive se prolonge beaucoup plus longtemps que par l'urine ;

2<sup>o</sup> Le repos semble ralentir l'élimination par les reins ;

3<sup>o</sup> Les séances d'introduction électrolytique de l'iode devront être répétées deux ou trois fois par semaine.

En comparant aux nôtres les recherches faites par différents thérapeutes sur l'élimination de l'ion iode des solutions d'iodures administrées par voie gastrique ou sous-cutanée, l'iode introduit par électrolyse serait éliminé, semble-t-il, beaucoup plus lentement. Mais, comme nous l'avons déjà dit, ces recherches avaient été faites uniquement sur l'urine, et avec des réactifs moins sensibles. Pour avoir le droit de conclure, il faudrait les recommencer en suivant notre méthode.

D'ailleurs, il ne serait pas étonnant de constater cette différence dans la rapidité de l'élimination suivant le mode d'administration. SAVY (44) en avait déjà fait la remarque : l'élimination de l'ion salicylique introduit par ingestion ou injection sous-cutanée était beaucoup plus rapide qu'après introduction électrolytique. — Ce fait peut s'expliquer de la façon suivante : par la méthode électroïonique, le médicament imprègne plus fortement les cellules de l'organisme ; on peut ainsi introduire dans les cellules imperméables à beaucoup de substances médicamenteuses toute la série des ions. Les médicaments ainsi unis plus intimement aux tissus seront naturellement éliminés plus lentement. Introduits par les autres procédés thérapeutiques, ils passent de suite et presque en totalité dans la circulation ; les éléments cellulaires en absorbent peu ; l'élimination se fera rapidement.

Dans un travail récent sur l'élimination de l'iode des iodures, MM. Ch. FÉRÉ et G. TIXIER (1) concluent de leurs recherches : l'organisme élimine d'autant plus rapidement l'iode qu'il est moins étranger à cette médication. Un travail ou une excitation supplémentaire ont pour effet d'activer l'élimination de l'iode, le repos la ralentit.

Nos observations s'accordent avec ces conclusions :

(1) Ch. FÉRÉ et G. TIXIER, Etude sur la durée de l'élimination rénale de l'iodure de potassium. (*Comptes-rendus de la Société de Biologie*, 1906, pp. 489 et 1024.)

la seconde fois l'élimination de l'iode a été beaucoup plus rapide. Chaque fois, nous avons constaté la diminution de l'élimination par le rein sous l'influence du repos de la nuit. Il y eut même, dans la nuit qui suivit la première introduction, absence complète, à un certain moment, d'iode dans l'urine. Mais, de plus, nous avons vu l'iode augmenter, par compensation, dans la salive.

Une dizaine de jours après notre deuxième séance d'électroïonisation, l'absence totale d'iode dans la salive étant bien constatée, nous avons fait cette dernière expérience : le seul changement apporté au dispositif des deux introductions précédentes fut de relier au pôle négatif l'électrode imbibée de chlorure de sodium, et l'autre, celle de l'iodure de sodium, au pôle positif. Dans ces conditions, les intensités obtenues donnèrent une moyenne de 61 ma. pendant 60 minutes.

A aucun moment nous n'avons pu déceler la moindre trace d'iode dans la salive ou l'urine. — En enlevant les électrodes, nous avons remarqué sous la plaque métallique de l'anode une coloration brune très foncée du tissu de coton hydrophyle. Cette teinte traversait, en s'atténuant progressivement, 7 épaisseurs du tissu. Sur la plaque métallique elle-même il y avait un dépôt abondant de liquide brun rougeâtre. C'était une solution de l'iode mis en liberté au

contact de la plaque ; l'odeur, les réactions, la couleur ne pouvaient en laisser douter.

Par suite du changement apporté dans la situation de l'anode et de la cathode, l'iode, au lieu d'être introduit dans les tissus, s'est dégagé au niveau du métal. Aucune quantité n'a été absorbée, ou plutôt, s'il en a été absorbé, ce fut en si infime proportion que la mise en évidence par nos procédés de recherche pourtant si sensibles a été impossible.

D'après les lois de l'introduction électrolytique des ions, l'anion iode ne pouvait pas en effet pénétrer à l'anode. Notre expérience est donc d'accord avec la théorie.

En admettant l'existence de la cataphorèse, la molécule non dissociée d'iodure de sodium devait être entraînée dans le sens du courant et passer à travers la peau. Or, bien que les conditions aient été favorables à cette introduction, étant données l'intensité du courant et la longue durée de son passage, aucune trace d'iode n'a pu être constatée. Notre expérience est donc contraire à l'existence de la cataphorèse ou tout au moins à son importance pratique.

Après cela, comment expliquer qu'AUBERT ait pu écrire, en 1893 : « l'idée erronée que le transport se produit surtout du négatif au positif est très répandue en France. Je l'ai entendu soutenir par des professeurs très au courant des applications thérapeutiques de l'électricité. Cette erreur a pour point

d'appui la thèse de LAURET... » et il donnait alors, pour expliquer l'expérience de LAURET, cette explication bizarre que nous avons rapportée dans notre historique.

Plus près de nous, il y a cinq ans seulement, ANACLETO ROMANO (89) dit encore : « Le pôle par où se fait la pénétration de l'iode est logiquement (?) le pôle positif... » et l'auteur « n'admet pas qu'on se serve de la cathode », car la pénétration de l'iode dans le corps thyroïde est démontrée par ses expériences, cette pénétration se faisant par cataphorèse.

Peut-être n'était-il pas superflu et enfantin de chercher à prouver le contraire ?

## CHAPITRE VIII

### Vitesses absolues de l'ion iode

Nous avons pu, par le procédé exposé ci-dessous, déterminer les vitesses absolues de l'ion iode dans des conditions variées d'expérimentation :

Une solution de gélatine à 10 p. 100 est étendue sur une plaque de verre. Quelques minutes après, une fois solidifiée par refroidissement, on fait tomber à la surface de la gélatine une goutte d'une solution d'un iodure alcalin plus ou moins concentrée, et, à 40 millimètres de cette goutte, une goutte d'une solution légère d'empois d'amidon. Ceci fait, chaque goutte est mise en relation avec l'un des pôles d'une source électrique continue. Dans ce but, deux fils de platine recourbés à angle droit à deux centimètres environ d'une de leurs extrémités plongent par cette partie recourbée, au centre de la goutte, perpendiculairement à la surface de la plaque. La partie horizontale traverse un bouchon de liège placé au delà de la plaque et surchargé de plomb afin de lui donner de la stabilité. Chaque fil de platine est relié à

la source électrique : le fil plongeant dans l'iodure au pôle négatif ; le fil plongeant dans l'amidon au pôle positif.

Comme source d'électricité, nous avons employé des accumulateurs de grande capacité, afin de pouvoir faire varier plus facilement le voltage en associant en tension un plus ou moins grand nombre d'éléments.

Nous avons associé d'abord 2 accumulateurs, puis 4, 6, 8, etc..., jusqu'à 24.

Chaque fois nous notions le temps nécessaire à l'apparition d'un début de coloration bleue dans la goutte d'amidon. — C'était le temps mis par l'ion I à parcourir les 40 millimètres séparant les deux électrodes.

En répétant un grand nombre de fois l'expérience avec des solutions iodurées de concentrations différentes et avec des voltages différents, nous avons constaté que les différences de vitesses étaient très peu marquées pour des concentrations différentes avec le même voltage. Au contraire, avec la même concentration, mais des voltages plus ou moins forts, la vitesse variait considérablement.

Voici, résumés dans le tableau suivant, les résultats moyens obtenus. — Nous disons « moyens » parce qu'une autre condition faisait un peu varier la vitesse, le voltage et la concentration étant les mêmes : C'était la température ambiante au moment de l'expérience. La concentration de la solution de gélatine

augmentant plus ou moins rapidement suivant la rapidité de l'évaporation de l'eau, la résistance à la progression des ions augmente aussi parallèlement. — Pour la même raison les temps mis à l'apparition de la coloration bleue avec les faibles voltages sont un peu moins longs par rapport aux autres que ceux indiqués dans le tableau, car plus l'expérience se prolongeait, plus la gélatine se desséchait, et la vitesse des ions diminuait.

Pour avoir des résultats absolument exacts, il aurait fallu opérer dans une chambre humide. Pratiquement c'était inutile.

|         |         |          |         |
|---------|---------|----------|---------|
| 4 volts | 7 h. 15 | 14 volts | 3 h. 10 |
| 6 v.    | 5 h.    | 16 v.    | 2 h. 50 |
| 8 v.    | 4 h. 20 | 18 v.    | 2 h. 30 |
| 10 v.   | 4 h.    | 20 v.    | 2 h. 20 |
| 12 v.   | 3 h. 45 | 22 v.    | 2 h.    |
|         |         | 24 v.    | 1 h. 40 |

En divisant la distance parcourue, 40 mm., par le temps à chaque voltage, en portant les volts en abscisses et les vitesses en ordonnées, nous avons tracé la courbe ci-contre (fig. 4):

Chaque division des ordonnées correspond à un centième de millimètre parcouru en une minute.

La vitesse croît régulièrement avec le voltage.

— La vitesse varie légèrement, avons-nous dit, avec la concentration de la solution. Cela provient des différences de tension osmotique, produisant une

diffusion plus ou moins rapide de l'iodure suivant le titre de la solution.

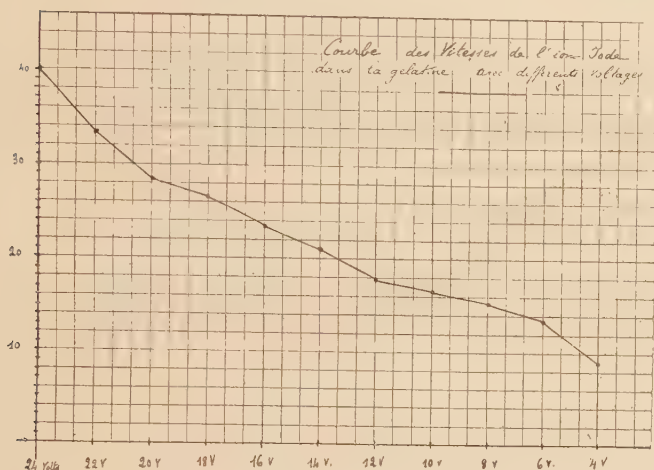


Fig. 4. — Courbes des vitesses absolues de l'ion iode dans la gélatine à différents voltages.

Nous avons mesuré la différence entre la vitesse de diffusion d'une solution saturée d'iodure de sodium et cette solution étendue de son volume d'eau. Dans ce but, nous faisons diffuser une goutte de chacune de ces solutions sur des plaques de gélatine.

Après un temps déterminé, nous posons autour de la goutte d'iodure, et à différentes distances, de petites gouttes d'empois d'amidon. Puis, plaçant la cathode de platine sur la goutte d'iodure, avec l'a-

node portée successivement sur chaque goutte d'empois, en commençant par les plus éloignées, nous cherchons à quelle distance s'obtient la coloration bleue. Voici les résultats obtenus (1) :

Avec la solution saturée, la coloration se montre

après 2 h.  $\frac{1}{2}$  de diffusion à 18 mm.

après 4 h. — — à 24 mm.

après 6 h.  $\frac{1}{2}$  — — à 26 mm.

Avec la solution  $\frac{1}{2}$  saturée :

après 2 h.  $\frac{1}{2}$  de diffusion à 15 mm.

après 4 h. — — à 20 mm.

après 6 h.  $\frac{1}{2}$  — — à 23 mm.

(1) Nous pensions, en étudiant la vitesse de l'ion iode par ces procédés, qu'ils n'avaient encore pas été employés. Mais nous avons trouvé dans les comptes-rendus de l'Académie des Sciences de 1903 une note de M. A. CHARPENTIER présentée par M. d'ARSONVAL qui débute ainsi : « Des gouttes d'électrolytes en solutions plus ou moins concentrées, déposées sur une couche de gélatine à 10 p.100 environ, diffusent régulièrement, et peuvent donner lieu à des phénomènes variés dont quelques-uns ont été décrits par M. STÉPHANE LEDUC. L'action d'un courant continu est intéressante à étudier sur ces gouttes, en déplaçant les ions positifs et négatifs avec des vitesses inégales, dans des sens opposés et suivant la direction des lignes de force, de sorte que, par leurs traces, généralement faciles à apprécier à la surface de la gélatine, on peut acquérir des données précises et sur la forme du champ, et sur la vitesse des ions. »

## CHAPITRE IX

### Observations

#### OBSERVATION I. — Rhumatisme chronique.

M<sup>me</sup> L..., 30 ans, n'avait jamais eu de maladie sérieuse jusqu'à celle qui l'atteignit il y a près de six ans et pour laquelle, après avoir épuisé toutes les ressources de la thérapeutique, elle vint à Nantes, au début de l'hiver dernier, essayer l'ionisation.

Ses antécédents héréditaires sont par contre assez chargés; car, par son père, elle appartient à une famille de rhumatisants. Son père, après avoir eu plusieurs attaques de rhumatisme articulaire aigu, mourut subitement par le cœur à 45 ans. Deux tantes et sa grand'mère furent aussi atteintes de cette affection. — Une grand'tante eut du rhumatisme déformant.

M<sup>me</sup> L... se maria à 20 ans, et eut sans aucun accident deux enfants actuellement en bonne santé.

Elle cessa d'allaiter son dernier né au bout de 7 mois pour suivre un régime contre l'obésité, car son poids avait passé en quelques mois de 66 à 85 kgr. Son médecin lui fit prendre pendant 3 semaines des granules de corps thyroïde et la mit au régime végétarien et sec pendant 6 mois.

Vers cette époque (sept. 1901), elle eut, par suite d'un

accident de voiture, une entorse des deux poignets. Depuis quelque temps, M<sup>me</sup> L... éprouvait en outre une lassitude générale, se sentait de la fièvre et elle vit son embonpoint disparaître aussi rapidement qu'il était venu : tous les huit jours, il fallait rétrécir ses vêtements.

Le thermomètre marquait tous les matins 38°5 à 39° pour redescendre le soir, et au mois de novembre la malade ne pesait plus que 50 kilogr.

Pendant ce temps, elle commença à souffrir dans les genoux et les pieds, qui augmentèrent de volume, puis dans les poignets, qui d'ailleurs étaient restés endoloris depuis leur accident. Les articulations se prenaient symétriquement en commençant à gauche,

Dès le début elle prit 4 gr. de *salicylate* de Na par jour, puis, comme il n'y avait pas d'amélioration, on lui fit des injections sous-cutanées d'un sel de *quinine* en même temps qu'un traitement arsenical (injections alternatives d'*Arrhénal* et de *Cacodylate* de Na).

N'obtenant pas d'amélioration, son médecin, au bout de 4 mois, l'envoya à Biarritz, où, malgré la balnéothérapie et des injections hypodermiques de salicylate, elle vit son état s'aggraver. Les douleurs dans les genoux devinrent atroces, même au repos. Comme elle tenait constamment les jambes fléchies, on dut l'étendre sur un lit dur et lui faire 3 heures par jour de l'extension pour éviter l'ankylose vicieuse.

Les muscles s'atrophiaient rapidement, l'anorexie était complète, la fièvre persistait. En un mois, les articulations des doigts furent toutes envahies, sauf celles des phalanges avec les phalanges. Les pouces furent peu touchés. Douleurs dans le cou, et l'épaule gauche.

A noter qu'à Biarritz on lui fit aussi, sur les conseils du Dr H..., des injections de *pipérazine* et de *colchicine*.

L'été suivant, à Paris, traitement par l'air chaud à 150°. — 1 séance par jour pendant un mois. — N'arrivant pas à marcher elle va passer l'hiver 1902-1903 à Saint-Jean-de-Luz et Dax, où elle prend des *bains de boue* pendant 3 semaines.

Puis nouveau traitement par la chaleur à Paris. Son état général s'améliore après un séjour à la campagne en Normandie : elle reprend un peu d'embonpoint. Elle commence à marcher avec peine, mais en ne s'aidant que d'une canne, bien qu'elle souffrit beaucoup.

L'hiver suivant on lui fit des *injections d'eau de mer* (Plasma de Quinton, 500 gr. tous les 3 jours), et aussi des *injections intraarticulaires de salicylate de Na* (méthode de Bouchard). Aucun résultat.

Au printemps de 1904, on lui fit un *lavage de l'articulation* du genou gauche à l'eau phéniquée.

A cette époque la fièvre, qui persistait depuis le début de la maladie, disparut pour ne plus revenir. L'état général s'améliora beaucoup, mais il devint impossible à M<sup>me</sup> L... de se tenir debout, car les genoux, surtout le gauche, étaient ankylosés, en flexion telle que la station verticale provoquait de vives douleurs et était impossible. Depuis lors elle fut obligée de se servir de béquilles.

Dans le courant de l'année 1905, l'*électrothérapie* fut essayée à son tour, sur le conseil du docteur HUCHARD. — Pendant trois mois, courant continu ou électricité statique. La malade acheta même un appareil à faradisation contre l'atrophie musculaire. Le *massage suédois* n'arriva pas à de meilleurs résultats.

Enfin, à l'automne de 1906, la malade se décide à essayer l'*ionisation*, et dans ce but, sur le conseil du Dr HEPP, elle vint à Nantes trouver M. le Professeur LEDUC, qui chercha à rétablir d'abord ce qui manquait le plus à M<sup>me</sup> L...,

la possibilité de se tenir debout et de marcher. — Chaque jour, pendant une demi-heure, suivant la technique établie, séance d'introduction ionique. M. LEDUC essaya d'abord l'ion salicylique, mais il fut mal supporté et n'amena pas d'amélioration. L'ion iode, au contraire, après quatre ou cinq séances, manifesta des effets favorables. La tolérance était de 40 à 50 Ma en moyenne. Rapidement, la flexion du genou gauche disparut, et au bout de deux mois la malade abandonnait les béquilles qu'elle ne pouvait quitter depuis plus de deux ans. Après trois mois de traitement, M<sup>me</sup> L... peut marcher sans canne, descendre les escaliers ; elle a pu, sans canne, monter trois étages consécutifs. Les genoux ont presque repris leur forme normale.

Les autres articulations ont été à peine traitées avant que M<sup>me</sup> L... quitte Nantes ; car maintenant elle est de retour chez elle après avoir acquis les instruments et l'expérience nécessaires pour continuer elle-même un traitement dont elle a apprécié les bons effets.

Au moment où nous avons pris son observation, vers le milieu de mars, voici ce que nous avons constaté :

MEMBRES SUPÉRIEURS :

*Epaule gauche* : ankylose presque complète : il est impossible à la malade de lever les bras plus haut que l'horizontale, et encore cela ne peut s'obtenir que grâce au mouvement de bascule de l'omoplate. Si on fixe cet os, le bras est en même temps presque immobilisé. — Craquements intenses. — Pas de déformation cependant. — Douleur peu prononcée à la pression.

*Epaule droite*. — Rien.

*Coude gauche*. — Les mouvements de flexion sont normaux, mais l'extension complète est impossible. — Craquements légers.

*Coude droit.* — Rien.

*Poignets.* — Sont à peu près dans le même état des deux côtés. Il y a un peu plus d'empâtement à gauche. Les mouvements de flexion ont très peu d'amplitude. Les mains sont en extension, c'est-à-dire qu'au repos, mains et bras pendants, le dos de la main fait un angle obtus avec la face postérieure de l'avant-bras.

*Mains.* — Les déformations sont les mêmes à gauche et à droite. Ce sont surtout les articulations métacarpo-phalangiennes qui sont atteintes et principalement celles de l'index et du médius. Par contre, ce sont les articulations phalango-phalangiennes des 4<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> doigts, qui sont ensuite les plus malades.

Quant aux articulations des phalanges avec les phalanges, elles sont presque indemnes.

La main a l'attitude du *Type de flexion de CHARCOT* : — Flexion légère de la 1<sup>re</sup> phalange sur le métacarpien. Les tendons fléchisseurs font saillie sous l'articulation qui réunit ces deux os. Légère hyperextension des phalanges. Il n'y a pas d'inclinaison en masse de la main vers le bord cubital.

La flexion complète des doigts est impossible à droite, elle l'est à gauche et par suite cette main serre davantage les objets qu'elle saisit. Les mouvements sont d'ailleurs assez étendus, car la malade peut écrire et coudre.

MEMBRES INFÉRIEURS :

*Hanches.* — N'ont pas été malades.

*Genoux.* — Circonférence 41 cm. à gauche.

— 42 — à droite

Ils sont très empâtés. On obtient nettement des deux côtés le choc rotulien.

En arrière du genou gauche dans le creux poplité, on note la présence d'une tuméfaction de la grosseur d'une

noix, rénitente, diminuant légèrement par la pression prolongée, qui est d'ailleurs douloureuse.

Les mouvements de flexion et d'extension sont possibles; ils s'accompagnent de nombreux et gros craquements.

La pression au-dessus et de chaque côté des rotules est douloureuse.

Résistance très diminuée aux mouvements que l'on veut imprimer à ces articulations.

Les articulations *du pied et du cou-de-pied* sont indemnes. Le gros orteil n'est même pas dévié. Les malléoles sont cependant un peu effacées. Les mouvements et la force sont bien conservés.

Les déformations articulaires qui ont été notées semblent dues, en grande partie, à des rétractions tendineuses ou à des contractures musculaires alliées à des épaissements dessynoviales. Les empâtements sont mous et se laissent facilement déprimer avec le doigt. Aux genoux il doit en outre y avoir un peu de liquide, puisque l'on obtient le choc rotulien.

Nulle part on ne sent de déformation osseuse, d'ostéophyte. D'ailleurs M<sup>me</sup> L... nous dit qu'à la radioscopie on constata que le squelette était normal.

Les *différents viscères* ne présentent aucune lésion. D'ailleurs ils ont toujours été en bon état.

*Sensibilité* normale.

Aucun stigmate d'*hystérie*.

*Les urines* de la malade ont été examinées à plusieurs reprises au cours de son affection. Les analyses ont toujours montré une augmentation considérable de l'acide urique et la diminution des phosphates.

OBSERVATION II. — Ankyloses des articulations de la main et du poignet.

M. E..., menuisier, 48 ans, s'introduit en travaillant, le 24 octobre 1906, un éclat de bois au niveau du pli articulaire de l'articulation interphalangienne du pouce droit.

Il en résulte un panaris, puis un grave phlegmon de la main et de l'avant-bras. Pour évacuer le pus, un médecin fit à plusieurs reprises des incisions en différents endroits.

A la fin de janvier seulement, la suppuration s'arrêta, et les plaies furent cicatrisées.

Mais il y avait alors une disparition complète des mouvements des doigts et du poignet ; la pronation et la supination sont également impossibles. Le volume de la main et de l'avant-bras est considérablement augmenté. Les tissus sont empâtés ; la peau est pâle, épaissie par un œdème dur ; les plis articulaires sont presque complètement effacés.

Cet homme avait malheureusement négligé de déclarer l'accident bénin, cause de tout mal : il n'était pas assuré et se trouvait absolument incapable de reprendre son travail. En outre, son médecin l'avait abandonné en lui disant qu'il resterait estropié, et ne pourrait jamais se servir de sa main. Il alla alors chez M. le Dr LEDUC. Aussitôt l'introduction électrolytique de l'ion iode *loco dolenti* lui fut appliquée (3 premières séances d'une demi-heure à huit jours de distance, puis deux autres à quinze jours. (Intensité moyenne 60 à 70 ma.) — Très rapidement survint une amélioration notable : après la deuxième séance, le malade commença à fléchir les

doigts; le gonflement des tissus disparut en quelques jours, et la peau prit un aspect presque normal qu'elle a conservé depuis. Chaque fois le mieux s'accroissait.

M. LEDUC nous invita alors à continuer nous-même le traitement, et nous vîmes pour la première fois le malade le 25 mars 1907.

A cette date, par l'examen du malade nous constatons la possibilité d'une flexion légère de tous les doigts, à l'exception du pouce, dont la dernière phalange est recourbée sur l'autre à angle droit et la première appliquée contre le bord externe du 2<sup>e</sup> métacarpien. L'opposition et les autres mouvements de ce doigt ne peuvent être faits volontairement, on peut toutefois lui communiquer quelques mouvements passifs d'abduction et d'adduction, mais leur amplitude est très faible. Quant aux deux phalanges, il est impossible de les mettre dans le prolongement l'une de l'autre, ou même de modifier l'angle qu'elles forment : elles semblent soudées. On note au niveau du pli de flexion la cicatrice du panaris.

Les articulations interphalango-phalanginiennes et métacarpophalangiennes des trois doigts du milieu peuvent être légèrement fléchies ; ces doigts peuvent aussi être écartés ou rapprochés volontairement les uns des autres. C'était absolument impossible, nous dit le malade avant le début du traitement : tous les doigts étaient accolés les uns aux autres, et ne pouvaient être remués.

Le petit doigt, moins mobile que ceux du milieu, a lui aussi sa dernière phalange recourbée en un crochet irréductible sur la précédente.

Au poignet, aucun mouvement actif ou passif n'est possible. On ne perçoit pas le moindre craquement en essayant de mobiliser cette articulation. Impossibles aussi la pronation et la supination : le malade a la main

dans une attitude intermédiaire entre ces deux positions.

La pression au niveau du poignet produit une douleur assez marquée, surtout au niveau de l'apophyse styloïde du cubitus. Tout près de là, d'ailleurs, entre les deux os de l'avant-bras, on remarque, sur la peau de la face postérieure, une petite cicatrice linéaire, trace d'un coup de bistouri destiné à donner issue au pus, mais ayant peut-être intéressé l'articulation radio-cubitale inférieure.

Les mouvements de flexion et d'extension du coude sont intacts. A l'épaule, on perçoit quelques légers craquements en mobilisant le bras pendant qu'une main est appliquée sur la jointure. Mais ils doivent être dus à un peu d'arthrite chronique sans relation avec les lésions de l'autre extrémité du membre. M. E... nous dit en effet avoir eu à plusieurs reprises des attaques de rhumatisme articulaire aigu ; les épaules ont été très malades, surtout la droite. Il lui est d'ailleurs resté dans cette articulation une douleur, une gêne permanente, insignifiante à certains moments, plus marquée à d'autres.

Bien entendu, les muscles du membre malade ont subi une forte atrophie, surtout à la main : les muscles thénariens n'y forment plus d'éminence, et les interosseux ne comblent plus les espaces intermétacarpiens.

Il n'y a pas de trouble de la sensibilité. Même la peau des doigts les plus atteints a conservé la perception exacte du tact, de la douleur, du chaud et du froid. De plus les nerfs ne sont pas douloureux à la pression.

Il n'y a donc pas de névrite périphérique, et l'affection intéresse principalement les ligaments articulaires et les tendons.

Du 25 mars au 20 juin, nous avons fait à ce malade 21 séances d'électroïonisation (KI en solution à 4 p. 100 imbibant des bandes de tissu de coton hydrophile

enroulées autour de la main et du poignet; par-dessus, une plaque d'étain appliquée fortement à l'aide d'une bande de toile et reliée au pôle —; électrode indifférente de NaCl. Le patient a toujours supporté sans accident des intensités élevées... On arrivait facilement à 100 milliampères et plus en 40 minutes environ. Chaque séance durait une heure et la moyenne des intensités relevées à chaque changement était en général de 60 milliampères. Parfois elle fut bien plus élevée; ainsi, à la 8<sup>e</sup> séance, nous avons obtenu les intensités suivantes :

|             |   |                          |     |     |
|-------------|---|--------------------------|-----|-----|
| Moyenne des | 3 | premières minutes.....   | 40  | Ma. |
| —           | — | 5 minutes suivantes..... | 53  | —   |
| —           | — | 4 — — .....              | 65  | —   |
| —           | — | 4 — — .....              | 75  | —   |
| —           | — | 12 — — .....             | 85  | —   |
| —           | — | 8 — — .....              | 95  | —   |
| —           | — | 24 — — .....             | 105 | —   |

Ce qui donne une moyenne de 87 milla. 6 par minute.

A chaque retour de notre malade, nous constatons généralement une amélioration; il s'en apercevait d'ailleurs le plus souvent lui-même.

Le 1<sup>er</sup> avril, une légère flexion du pouce commence à être possible; elle est plus accentuée le 4; en même temps l'amplitude des mouvements des autres doigts a considérablement augmenté.

Le 8 avril, en essayant de mobiliser le poignet, on obtient un très minime déplacement dans le sens antéro-postérieur, et 3 jours après, un début de pronation et de supination passives. Nous percevons alors pour la première fois, en faisant la manœuvre, des craquements intenses dans les articulations du poignet. Mais il n'y a encore aucun mouvement volontaire. Le malade accuse

en même temps une augmentation des douleurs dans cette jointure.

Le 15 avril, avant la 6<sup>e</sup> séance, la flexion et l'extension du poignet ne sont encore qu'ébauchées, mais les mouvements passifs de pronation et de supination sont plus amples et plus faciles. L'avant-bras et la main placés de champ sur une table, et le bras bien immobilisé, l'inclinaison obtenue atteint un peu plus de 45°. Dans ces conditions il est impossible au sujet de mettre la main à plat.

Les mouvements actifs existent, mais sont moins étendus. Ils s'améliorent rapidement les jours suivants, le malade, sur notre conseil, s'efforçant de faire jouer et d'utiliser le plus possible les articulations ankylosées :

Le 22 avril il nous dit avoir pu porter le jour précédent des seaux d'eau de 6 litres. Le 1<sup>er</sup> mai, il a pu écrire plusieurs lettres. A cette date, il pose sa main presque complètement à plat sur une table horizontale ; les doigts sont devenus agiles, et si, dans leur flexion, leurs extrémités ne viennent pas se mettre dans le creux de la main, cela vient du peu d'amplitude du mouvement d'extension au poignet. En effet, pour fermer la main complètement, il doit se faire, pendant la flexion des doigts, un mouvement d'extension du poignet. Plus l'extension sera prononcée et plus la main se fermera énergiquement. Si le poignet est fléchi au maximum, seule la flexion des articulations métacarpophalangiennes est possible. Or, dans notre cas, la main est presque soudée à l'avant-bras et les axes des deux segments se confondent ; il y aurait même un léger degré de flexion.

Aux visites suivantes, nous avons assisté à l'amélioration progressive de tous les mouvements et de l'état général : à la fin du mois de mai, E... arrive à traîner des

brouettes lourdement chargées. Le pouce s'oppose bien aux autres doigts ; il ne peut toutefois se mettre en contact avec l'auriculaire ; mais entre son extrémité et celles des trois autres il serre sans peine de menus objets. Les dernières phalanges repliées du pouce et du petit doigt forment maintenant avec les précédentes des angles obtus et on peut les mobiliser légèrement. L'amplitude des mouvements de flexion et d'extension du poignet semble seule rester stationnaire.

Le 23 mai, le malade nous fait voir une éruption d'acné iodique avec purpura, uniquement localisée aux deux jambes. Elle est survenue dans les deux ou trois jours précédents, et, à la séance suivante, le 27 mai, il n'y en avait plus trace. A cette date, le poids de E... a augmenté de 8 kilogrammes depuis deux mois.

Dans la première quinzaine du mois suivant, légère amélioration de la flexion et de l'extension du poignet. Le 10 juin nous constatons nettement que ces mouvements peuvent être actifs. La douleur a beaucoup diminué, et, il y a 4 jours, notre malade a pu s'embaucher comme porteur.

Il continuera à venir régulièrement se faire introduire l'ion iode deux fois par semaine, car nous espérons l'un et l'autre obtenir le retour presque intégral de toutes les fonctions articulaires disparues.

### OBSERVATION III. — Ankylose du genou.

Marie R..., domestique, 41 ans, vint à l'hôpital vers le mois de mars 1906 pour une arthrite aiguë du genou gauche, de cause mal déterminée, qui évolua avec fièvre et hydarthrose, et aboutit, au bout de trois ou quatre

mois, à une ankylose complète de l'articulation. Elle sortit alors du service de chirurgie où elle avait été soignée, mais y revint quelques mois plus tard dans l'espoir d'y faire améliorer le fonctionnement de cette jointure.

Elle nous fut adressée à la fin du mois de mars, c'est-à-dire un an après le début de sa lésion.

Le traitement appliqué aux malades précédents fut essayé. Il fut bien supporté, à part les brûlures produites à la première séance, le 25 mars, dans les conditions décrites au chapitre VI de ce travail. En deux mois et demi, nous avons fait 16 introductions de l'ion iode au niveau de l'articulation malade, les intensités moyennes variant entre 50 et 83 milliampères, et chaque séance durant une heure.

Jusqu'à présent, l'amélioration n'a pas été très marquée.

Avant le traitement, il était impossible d'obtenir le moindre déplacement, spontané ou provoqué, de la jambe sur la cuisse. Les deux articles paraissaient soudés dans la position d'extension. Il n'y avait aucun craquement pendant les essais de mobilisation. La rotule elle-même semblait fixée ; il était difficile de la déplacer latéralement. Le genou malade paraissait beaucoup plus volumineux que l'autre ; de chaque côté de la rotule, les méplats normaux étaient remplacés par un empâtement assez résistant. Cependant la circonférence du membre mesurée au milieu de la rotule est de près d'un centimètre plus grande que celle du côté sain. L'atrophie musculaire est peu marquée. Sensibilité normale. Pas de douleur.

Dans les premières semaines du traitement, la seule amélioration accusée par la malade fut un peu plus de souplesse dans la marche. Nous fîmes alors une radiographie. Elle nous montra le mauvais état des surfaces articulaires : leur profil flou, et l'interligne plus opaque

aux rayons X que normalement indiquaient des formations fibreuses anciennes et très denses.

Nous continuons cependant le traitement, sans obtenir de grandes améliorations; toutefois, la rotule se dégage assez rapidement et, au commencement de mai, il est possible de la déplacer d'un côté et de l'autre. A la 13<sup>e</sup> séance nous obtenons, en immobilisant bien la cuisse et en appuyant fortement sur la jambe, une légère flexion accompagnée de gros craquements. Les craquements et la flexion s'accroissent un peu depuis le commencement de juin.

Et c'est là tout le changement apporté depuis deux mois et demi dans l'articulation malade. Mais c'est déjà beaucoup, car il nous donne l'espoir, malgré la gravité du cas, d'obtenir, en insistant encore, une plus grande amélioration.

Si, chez cette malade, l'effet du traitement fut moins marqué que dans les deux autres cas, il faut l'attribuer vraisemblablement à la profonde situation des tissus fibreux néoformés et au début tardif du traitement.

Il nous était facile de reproduire un certain nombre d'observations déjà publiées par M. le professeur LEDUC, et où la guérison fut complète et rapide. Beaucoup de médecins ont aussi obtenu des succès inespérés en traitant des ankyloses par le courant continu, qui agit, ne l'oublions pas, soit par l'introduction polaire de nouveaux ions, soit par les effets interpolaires.

Les trois malades dont nous avons pu prendre les observations rapportées ci-dessus étaient atteints

d'ankyloses semblant incurables ; leurs médecins les avait abandonnés.

M<sup>me</sup> L... avait subi tous les genres de traitement possibles. La nature de son affection était d'ailleurs imprécise, et le diagnostic difficile. La fièvre persistante du début tendrait à nous faire classer ce cas de rhumatisme chronique parmi les arthropathies chroniques post-infectieuses, et non dans les arthropathies déformantes primitives. Ce ne serait donc pas un cas de rhumatisme noueux, plus fréquent d'ailleurs chez les gens âgés de 40 à 60 ans et miséreux, toujours accompagné d'une diminution considérable de l'acide urique et d'une augmentation des phosphates.

MM. J. TEISSIER et ROQUE (1) ont décrit, sous le nom de « Rhumatisme goutteux » une forme de rhumatisme chronique comportant l'hyperazoturie et l'uricémie ; mais elle évolue sans fièvre, la température s'y maintiendrait même le plus souvent au dessous de 37°. — Etant donnés les antécédents de la malade et l'évolution fébrile du début, nous serions plutôt disposés à en faire un rhumatisme chronique d'origine rhumatismale.

Quoi qu'il en soit, le plus intéressant est de constater l'effet du traitement par l'introduction de l'iode. Ce fut le seul qui apporta une amélioration con-

(1) J. TEISSIER et G. ROQUE, fasc. VIII du Nouveau Traité de Médecine de BROUARDEL, GILBERT et THOINOT.

sidérable puisqu'il permit à M<sup>me</sup> L... d'abandonner les béquilles dont elle ne se séparait plus depuis deux ans. Les courants continus essayés antérieurement et l'ion salicylique n'avaient pas donné de résultat. Dans ce cas, les effets interpolaires ne furent donc pas les seules causes de la guérison ; c'est l'ion iode lui-même qui semble avoir agi.

Nos deux autres malades ont eu des ankyloses localisées et complètes, consécutives toutes deux à des infections des synoviales articulaires ou tendineuses.

Pourquoi le même traitement n'a-t-il pas aussi bien réussi dans les deux cas ? Uniquement, croyons-nous parce que la sclérololyse a été entreprise aussitôt après la disparition du processus infectieux chez l'un ; chez l'autre, au contraire, ce ne fut que neuf mois environ après la guérison de l'arthrite.

Le tissu fibreux néoformé est rapidement modifié ; s'il est plus ancien il devient plus résistant.

Les cas très anciens, datant de plusieurs années, seront rebelles au traitement ; le meilleur moment est celui où l'ankylose est en voie de constitution.

Cependant il y a des exceptions à cette règle. Parfois on obtient des résultats dans des cas en apparence désespérés, — M. LEDUC en a publié quelques-uns, et dernièrement MM. DESFOSSÉS et MARTINET (125).

Nos trois observations ont trait à des scléroses articulaires, mais, évidemment, le même traitement

est applicable à des lésions variées : cicatrices de brûlures, chéloïdes, symphyses pleurales, arthrites tuberculeuses, etc...

Les résultats seront d'autant plus rapides que les tissus malades seront plus superficiels (peau, mains, pieds); ils sont alors facilement accessibles au courant, dont l'action est rapide et complète.

Dans le cas contraire (articulations de la hanche, de l'épaule), l'épaisse couche des muscles interposée est très conductrice et forme un véritable écran, en détournant le courant et en n'en laissant parvenir qu'une faible portion aux tissus malades. Pour ces régions, les résultats sont incomplets et lents à obtenir (S. LEDUC 120).

Il y a quelque temps, un capitaine d'artillerie consulta par correspondance M. le Professeur LEDUC sur le traitement à appliquer à sa mère, qui, à la suite de l'opération de l'empyème conservait des fistules thoraciques à suppuration intarissable. L'électroïonisation fut conseillée, en employant une large cathode formée de compresses imbibées de solution iodurée. Quelques semaines plus tard, une lettre de remerciements annonçait en même temps la fermeture des fistules, un état général parfait, la guérison totale.

## CONCLUSIONS

1° Pour le dosage des ions, il serait nécessaire d'établir la vitesse relative de chaque cation à l'ion  $\bar{\text{Cl}}$ , et de chaque anion à l'ion  $\overset{+}{\text{Na}}$  (l'électrode indifférente étant ordinairement imbibée d'une solution de chlorure de sodium).

2° Pour l'introduction électrolytique des ions, le choix de la substance spongieuse et des plaques métalliques constituant les électrodes a une grande importance. Pour se préserver de l'introduction des ions naissant au contact des plaques métalliques, il faudra employer au moins seize épaisseurs de tissu de coton hydrophile et des plaques d'étain souple.

3° Les électrodes doivent être serrées, et leur pression bien uniforme. Sans cette précaution, l'introduction serait concentrée à quelques points de contact, et on aurait des brûlures.

4° Pour introduire l'ion iode, la solution d'iodure sera placée à la cathode.

5° On obtient par l'introduction électrolytique de

Iode, de bons résultats dans le traitement des sclé-  
roses superficielles.

6° Pour la sclérolyse, les séances doivent avoir une longue durée (30 à 60 minutes) ; les électrodes, une grande surface (100 à 300 centimètres carrés) ; et le courant, une forte intensité, limitée seulement par la tolérance du malade et devant, en tous cas, atteindre, pour être efficace, une moyenne de 60 à 80 milliampères.

7° Les résultats obtenus sont d'autant plus rapides et complets que ce traitement est appliqué plus près du début des accidents, pendant la période de formation du tissu fibreux.

## BIBLIOGRAPHIE

1833. — (1) FABRÉ-PALAPRAT. — (*Archives génér. de médecine*. Paris).
1847. — (2) KLENKE. — (*Zeitschrift Wiener Aertze*).
1853. — (3) HASSEINSTEIN. — *Chemisch electrische Heilmethode* (Leipzig).
1859. — (4) RICHARDSON. — (*Medical Times and Gazette*).
1870. — (5) BRUNS. — (*Galvano Chirurgie*, Tübingen).
- (6) BRÜCKNER (A.). — Ueber die Einführung des iodes vermittelt electrische Ströme. (*Berliner klinische Wochenschrift*).
- (7) FIEBER. — Neue Vers. ueber die Ioddurchleitung mittelst. d. galvanisches Stromes (*Wien. allg. Zeit.*, nos 21-25).
1871. — (8) BEER. — Electrolytische Ioddurchleitung (*Schmidt's Jahrbücher*, p. 200).
1872. — (9) ONIMUS et LEGROS. — Electricité médicale.
1873. — (10) MUNK. — Ueber die galvanische Einführung differenter Flüssigkeiten in den unversehrtenlebenden Organismus (*Von Reichert und Du Bois-Reymond's Arch.*).
1884. — (11) BARDET. — Traité d'électricité médicale.
- (12) ERB (d'Heidelberg). — Traité d'électrothérapie (traduc. Rueff).
1885. — (13) BARDET. — Recherches sur l'électrolyse et

le transfert des médicaments à travers l'organisme par le courant électrique (*Bull. gén. de thérapeut.*).

1885. — (14) BRONDEL. — Diélectrolyse (*Gaz. des Hôpitaux*, 24 sept.; et *Bull. gén. de thérapeut.*, p. 521).

— (15) DUJARDIN-BEAUMETZ. — Diélectrolyse. — Expériences négatives' (*Gaz. des Hôpitaux*, 1<sup>er</sup> octobre).

— (16) LAURET. — De l'introduction des substances médicamenteuses à travers la peau saine par l'influence de l'électricité (Thèse de Montpellier).

1886. — (17) COMING. — (*New-York medical Journal*).

— (18) J. WAGNER. — Eine methode Hautanesthesie durch Kocain zu erzeugen (*Wiener medicinische Blatter*, n° 6).

— (19) HERZOG. — (*Münchener med. Wochenschrift*, t. XXIII, n° 13, p. 122).

— (20) LOMBROSO. — Sulla Cataphoresi elettrica (*Riforma Medica*).

1887. — (21) ADAMKIEWICZ. — (*Neurologische Centralblatt*, *Paschkis und Wagner*).

— (22) LOMBROSO et MATEINI. — (*Riforma medica*, novembre; et *Neurolog. Centralblatt*).

— (23) ADAMKIEWICZ. — (*Deutsche medicinische Wochenschrift*).

1888. — (24) HOFFMAN. — (*Neurologische Centralblatt*).

— (25) BOCCOLARI et MANZIERI. — Nuove esperienze di cataphoresi terapeutiche (*Rivista clinica*).

1889. — (26) GAREL (de Lyon). — (*Province médicale*).

1889. — (27) GARTNER und S. EHRMANN. — (*Wiener klinische Wochenschrift*).
- (28) PETERSEN. — (*New-York medic. Journ.*).
- (29) CAGNEY (de Londres). — (*Harveian Society*, 7 nov.)
- (30) EHRMANN. — (*Wiener med. Wochenschrift*, novembre).
1890. — (31) EDISON. — Application of electrical endosmose to the treatment of gouty concretion (Congrès de Berlin, août).
- (32) FOVEAU DE COURMELLES. — (Communications à l'Institut, 24 nov. ; 18 janvier 1891).
1891. — (33) MORTON. — (*New-York med. Journ.* ; et communication à l'A.F.A.S., Congrès de Marseille, 20<sup>e</sup> section, 7 nov.).
- (34) HARRIS and NEWMANN-LAWRENCE. — (*Rev. intern. Electroth.*).
- (35) KROHFELD. — Ueber electrische Sublimat-Bader (*Wiener med. Wochenschrift*).
- (36) IMBERT DE LA TOUCHE. — Traitement de la goutte par la cataphorèse (*R. intern. d'Electroth.*).
1892. — (37) KÔUNER. — Electrische Ströme chemische Flüssigkeiten und gelöste Arzneikörper durch thierische membranen und gewebe transportiren (*Therap. Monatshefte*).
- (38) AUBERT. — L'électricité et l'absorption cutanée (*Lyon médical*, t. III, 4, 11, 18 sept.).
1893. — (39) S. LEDUC. — Action thérapeutique des courants continus (*Gaz. méd. de Nantes*).
- (40) G. GARTNER. — (*Wiener klinische Wochenschrift*).

1893. — (41) LABATUT. — Transport des ions dans les tissus organisés (*Dauphiné médical*).
1894. — (42) HUNTER et M. GUIRE. — Traitement cataphorétique du goître et de l'orchite chronique par l'iode (*Revue intern. d'Electroth.*).
- (43) E. DESTOT. — De la cataphorèse électrique ; ses applications thérapeutiques (Congrès de médecine de Lyon ; et *Lyon médical*, n° 380).
1895. — (44) SAVY. — De l'introduction diadermique des médicaments sous tension électrique (Thèse de Lyon, 24 juin).
- (45) LABATUT (de Grenoble). — Transport des ions dans les tissus organisés (*Arch. d'électricité médic.*).
- (46) LABATUT, JOURDANET et PORTE. — Traitement des manifestations articulaires de la goutte et du rhumatisme par introduction électrolytique du lithium (*Gaz. des Hôpitaux* ; *Arch. d'Elect. méd.*, 15 février).
- (47) SUDNIK. — (*Arch. d'Elect. Méd.*) .
1896. — (48) MAX OKER-BLOM. — (*Arch. d'Elect. Méd.*).
1897. — (49) KARFUNKEL. — Beiträge zur Kataphorese ein Gesamtüberblick ueber den gegenwartigen Stand der Frage (*Arch. f. Dermatol. u. Syphil.* 1897, t. XL, p. 13).
- (50) G. WEISS. — L'électrolyse des tissus vivants (*Arch. d'Elect. med.*).
- (51) A. LEUILLIEUX (de Conlie, Sarthe). — De l'Introduction dans l'organisme d'ions à action thérapeutique (*Comptes-rendus de l'A.F.A.S.* ; Congrès de Saint-Etienne).
1898. — (52) SIMON FUBINI et PIERRE PIERINI (de Pise). —

Sur la Cataphorèse électrique (*Arch. d'élect. méd.*).

1898. — (53) AUGUST DI LUZENBERGER. — L'Electrolisi nei residui morbosi delle fracture ossea, dei flemmoni et delle miositi e la cataforesi medicata nei processi gottosi (Napoli).
- (54) LEVISON. — Behandlung der Gicht (Kopenhagen) (et *Zeitschrift für Electrotherapie*, 1899).
- (55) WINKLER. — Contribution à l'étude de l'osmose électrique (*Archiv. d'élect. méd.*).
- (56) CHAUVET (de Royat). — Traitement du rhumatisme et de la goutte par les bains hydroélectriques (*Arch. d'élect. méd.*).
- (57) FRITZ FRANKENHAUSER. — Die Zeitung der Elektrizität im lebenden Gewebe (Berlin, Hirschwald).
- (58) MORTON. — La Cataphorèse dans l'art dentaire (*Revue internat. d'électroth.*, pp. 40-41).
- (59) GILLES. — Absorption diadermique des Médicaments (*Archives d'électricité médicale*).
- (60) ADAM. — La Cataphorèse (*Pacific. med. j.*).
- (61) MARCUS. — Anesthésie dentaire par l'iodhydrate de cocaïne en Cataphorèse (*Médecine moderne*, 21 mai).
- (62) GRIESBACH. — Ueber Wesen u. Bedeutung der Kataphorese (*Deut. méd. Wochens.*).
1899. — (63) MASSON. — Ueber Ionen Geschwindigkeiten (*Zeits. f. physik. Chemie*, t. XXIX).
- (64) MEISSNER. — Ueber Kataphorese und ihre Be-

deutung f. die Therapie (*Zeits. f. Electr.; et Archiv. f. Anat. u. Phys.* ).

1899. — (65) LASCHTCHENKO. — Zur Kenntniss der Zeitung electrischer Strome im lebenden Gewebe sowie Bemerkungen ueber Zeitungs Widerstand des menschlichen Körpers (*Deuts. med. Wochens.*, p. 114).
- (66) FRANKENHAUSER. — Die Electrochimie als medicinische Wissenschaft (*Zeitschrift für Electroth.*).
- (67) Verläufige Mittheilung ueber ein neues Verfahren zu langdauernder Anwendung starker galvanischen Ströme (*Berlin. klin. Wochens.*, n° 34).
- (68) GUILLOZ. — Traitement électrique de la goutte (*Archiv. d'élec. méd.*).
- (69) ZUNZ. — De l'ionisation en biologie (*Journal de Biologie de Bruxelles; Annales d'Electrobiologie*).
- (70) BUDINGEN. — Ueber Katalytische Wirkungen des galvanischen Stromes bei Circulations-sperre (*Deuts. med. Wochens.*, t. XXV, p. 423).
- (71) HEYDERHALL. — Ueber die electrische Lithion Behandlung (Analyse in *Zeitschrift für Electroth.*).
- (72) MORTON. — Cataphoresis (*New-York*).
- (73) Dr A. PONT. — De la Cataphorèse en Art Dentaire (thèse de Lyon).
- (74) SCHATZKY. — Die Grundlagen der therapeutische Wirkung d. Strömes (*Zeits. f. Electroth.*, p. 24; et *Annales d'Elec-*

*trobiologie* : Bases de l'action thérapeutique du courant continu).

1899. — (75) FOVEAU. — Osmose et biélectrolyse (Congrès de l'A.F.A.S., Boulogne).

1900. — (76) G. ALLAIRE. — Traitement du rhumatisme par la Cataphorèse salicylée (*Gaz. Méd. de Nantes*, 7 avril).

— (77) FRANKENHAUSER. — Ueber die chemischen Wirkungen des galvanischen Strömes auf die Haut und ihre Bedeutung für die Electrotherapie (*Zeitschrift für Electrotherapie*).

— (78) Die practische Verwerthung der electrochemischen Ercheinungen für die Balneotherapie (*Vertrag gehalten auf der Versammlung der balneologischen Gesellschaft zu Frankfurt a. M.*).

— (79) FOVEAU. — Sur la biélectrolyse (Congrès intern. de médecine).

— (80) BIRUKOFF. — Untersuchungen über Galvanotaxis (*Pflüger's Archiv*., t. LXXVII, p. 555).

— (81) STÉPHANE LEDUC. — Introduction des substances médicamenteuses dans la profondeur des tissus par le courant électrique (1<sup>er</sup> Congrès Internat. d'Electrologie et de Radiologie médic. Paris, 27 juillet-1<sup>er</sup> août ; et *Annales d'Electrobiologie*, septembre et octobre).

— Introduction électrolytique des ions dans les tissus vivants (Congrès de l'A.F.A.S., Paris).

— (82) BORDIER. — Confirmation de la Théorie du transport des ions à travers les tissus

(Congrès de l'A.F.A.S. et *Archiv. d'Electricité Médicale*).

1900. — (83) S. LEDUC. — La théorie des ions en médecine. (*Annales scientifiques et médicales*, Paris, 1900; *Annales d'électrobiologie*, mars-avril 1901; *Gaz. méd. de Nantes*, 1901).
1901. — (84) — Action des courants continus sur l'organisme vivant (*Bulletin de la Société française d'électroth. et Annales d'électrobiologie*).
- (85) — L'Electrochimie médicale (Rapport au Congrès de l'A. F. A. S., Ajaccio; *Archiv. d'électr. méd.*; *Gazette médicale de Nantes*).
- (86) — Introduction des médicaments par l'électricité (*Sciences, arts, nature*).
- (87) H. BORDIER. — Sur le choix du métal à employer pour les électrodes (*Archiv. élec. méd.*).
- (88) A. LEUILLIEUX. — Introduction électrolytique du rubidium et de l'indium dans les tissus. Application au traitement de la goutte et du rhumatisme (Congrès d'Ajaccio; analysé in *Archiv. élec. méd.*).
- (89) ANACLETO ROMANO. — Sur la valeur de la cataphorèse médicamenteuse dans l'hypertrophie thyroïdienne (analysé dans *Arch. d'élec. méd.* — *Gl' Incurabili*, Napoli, Fas. 15, 16, 1901, pp. 471, 497).
- (90) FRANKENHAUSER. — Thérapeutique électrochimique (*Deuts. med. Zeits.*, 3 juin 1901; anal. in *Revue de Thérapeutique*, 15 sept. 1901).

1902. — (91) GONZALÈS QUIJANO SANCHEZ. — La théorie des ions en électricité médicale (Thèse de Paris, 15 mai).
- (92) S. LEDUC. — Dosage des ions introduits par l'électrolyse (*Annales d'électrobiologie*).
- (93) Action des courants continus sur les tissus scléreux et cicatriciels (Congrès de l'A. F. A. S. Montauban, août 1902).
- (94) TH. GUILLOZ (Nancy). — Sur l'Electrolyse et la Galvanocaustie (2<sup>e</sup> Congrès Intern. d'Electrologie et de Radiologie méd., Berne, sept. 1902; publié in *Arch. d'élec. méd.*).
- (95) M.-M.-F. WHEATLAND. — Diffusion de l'Iode par le courant électrique (*American electrotherapeutic Association*, XII<sup>e</sup> Congrès annuel).
1903. — (96) S. LEDUC. — Ion Zinc et Epithélioma du nez (Congrès de l'A. F. A. S., Angers; *Archiv. d'élec. méd.*, p. 734).
- (97) — Effet de l'ion Zinc sur la pousse des poils (Congrès de l'A. F. A. S. Angers; *Archiv. d'élec. méd.*).
- (98) — Traitement électrique de l'hémiplégie (*Bulletin de la Société française d'électrothérapie*).
- (99) J. BERGONIE et C. ROQUES. — L'Electrolyse des salicylates comme moyen de pénétration de l'ion salicylique en thérapeutique locale (*Archiv. d'élec. méd.*, 15 avril).
- (100) ENSCH. — Electrolyse et Cataphorèse (*Arch. d'élec. méd.*, 15 octobre, 15 novembre).

1903. — (101) C. ROQUES. — De l'introduction par cataphorèse de l'ion salicylique dans les articulations atteintes d'arthrite (*Arch. d'élec. méd.*, 15 nov.).
- (102) S. LEDUC et BOUCHET. — Actions physiologiques de quelques ions, et en particulier de l'ion adrénaline (*Arch. d'élec. méd.*, 15 nov.).
- (103) FOCKENBERGHE. — De l'introduction électrolytique de l'ion salicylique dans le traitement local des arthrites rhumatismales (thèse Bordeaux, 16 décembre).
- (104) TH. GUILLOZ. — Sur le Traitement électrique de la maladie de Basedow (Introduction de l'ion Iode). (*Archiv. d'élec. méd.*).
- (105) FÖRSTER et ERICH MULLER. — Contribution à la théorie de l'Electrolyse des solutions de chlorures alcalins (*Zeitschrift f. Electrochimie*, t. IX, pp. 171 et 195, 26 février et 5 mars 1903. Analysé in *Archives d'élec. méd.*, 15 juillet).
1904. — (106) S. LEDUC. — Les Ions en médecine (Congrès de l'A. F. A. S. Grenoble; *Archiv. élec. méd.*, 25 sept.).
- (107) A. CHARPENTIER. — Sur le Transport électrolytique de certains ions dans la gélatine (Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences, 29 juin 1903, page 1652).
- (108) S. LEDUC. — Traitement des névralgies par l'ion salicylique (*Archiv. d'élec. méd.*, 10 juin.).
- Traitement des névralgies par l'ion quinine (*Arch. d'élec. méd.*, 25 juillet).

1904. — (109) A. GRANGER. — Cas de cancer traités par la Cataphorèse mercurielle (*New-Orleans med. and Surg.*, août 1904; — *Revue de therap.*, 1<sup>er</sup> sept.; *Archiv. d'elec. méd.*, 25 décembre).
1905. — (110) LEWIS JONES (de Londres). — Traitement de l'Epithélioma de la face par l'ion Zinc, et étude sur l'emploi des ions en Thérapeutique (publié dans *The Lancet* et traduit dans les *Arch. d'elec. méd.*).
- (111) H. GUILLEMINOT. — Electricité médicale. Travail du Laboratoire du Professeur Bouchard, Paris.
- (112) S. LEDUC. — Guérison d'un tic douloureux de la face datant de trente-cinq ans par trois séances d'introduction de l'ion Salicylique (Congrès de l'A. F. A. S., Cherbourg; *Archiv. d'elec. méd.*, 10 nov.).
- (113) BORDIER et ROUCH. — Expériences sur les phénomènes d'entraînement et le transport des ions par l'Electricité statique. (Congrès de l'A. F. A. S., Cherbourg; *Archiv. d'elec. méd.*, 25 janvier 1906.)
- (114) S. LEDUC. — Etude sur la Résistance électrique du corps humain (*Archiv. d'elec. méd.*, 12 août; Congrès de l'A. F. A. S.).
- (115) — Die Jonen oder electrolytische Therapie (Ambrosius Barth, Leipzig).
- (116) L. AMBARD et A. MAYER. — La Théorie des Ions et ses applications en Biologie (*Revue Générale*) (*Semaine médicale*, 30 août).
- (117) SALAGHI (de Bologne). — Imprégnation des tissus de l'organisme par des précipités

- électrolytiques (*Archiv ital. de biol.*, t. XLIII, fasc. 1<sup>er</sup> mai; *Archiv. d'élec. méd.*).
1906. — (118) LOEB. — Etude sur les Ions (*Revue génér. des Sciences*, 15 sept.).
- (119) FRADIN. — De la Résistance électrique du Corps humain (thèse de Paris).
- (120) S. LEDUC. — (*Province médicale*, n<sup>os</sup> 21, p. 246).
- (121) — Les nouvelles Théories des Solutions dans leurs Rapports avec la médecine (*Presse médicale*, n<sup>os</sup> 70, 72, 74, 76).
1907. — (122) — Les Ions et les médications ioniques (Monographie publiée par l' « Œuvre médico-chirurgical ». Paris).
- (123) TUFFIER et MAUTÉ. — « A propos des médications ioniques » (Société de Biologie, 19 janvier).
- (124) P. DESFOSSES et A. MARTINET. — Technique de la Thérapeutique ionique (*Presse médicale*, 2 janvier).
- (125) — Sclérolyse ionique (*Presse médicale*, 20 mars).
- (126) — L'Ion Salicylique (*Presse médicale*, 20 avril).
- (127) H. ISCOVESCO et A. MATZA. — Sur la pénétration ionique d'Electrolytes à travers les sels Colloïdes (Comptes rendus de la Société de Biologie, 8 février; *Archiv. d'élec. méd.*, 10 juin).
- (128) H. LEWIS-JONES. — Traitement de l'Epithélioma par les ions Zinc (Leçon faite au Medical Graduates College and Polyclinic; traduite du *British medical Jour-*

nal par S. Leduc et publiée le 25 mars dans les *Archiv. d'élec. méd.*).

1907. — (129) DOUMER. — Théorie des Ions (*Annales d'électrobiologie*, mars).

— (130) ARISTIDE MALHERBE. — De l'Electroïonisation transtympanique (*Archiv. d'élec. méd.*, 10 juin).

---

|                  |                               |
|------------------|-------------------------------|
| <i>Vu :</i>      | <i>Vu :</i>                   |
| <i>Le Doyen,</i> | <i>Le Président de Thèse,</i> |
| DEBOVE.          | GABRIEL.                      |

VU ET PERMIS D'IMPRIMER :  
*Le Vice-Recteur de l'Académie de Paris,*  
M. LIARD.

## TABLE DES MATIÈRES

---

|                                                                                           | Pages |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| CHAPITRE I. — Théorie des Ions.....                                                       | 9     |
| CHAPITRE II. — Historique.....                                                            | 15    |
| CHAPITRE III. — Introduction électrolytique des ions.....                                 | 28    |
| 1° <i>Mécanisme</i> .....                                                                 | 28    |
| 2° <i>Technique</i> .....                                                                 | 32    |
| 3° <i>Effets physiologiques et thérapeutiques</i> .....                                   | 41    |
| CHAPITRE IV. — Recherche de l'Ion Iode .....                                              | 49    |
| CHAPITRE V. — Vitesses relatives des ions (Iode et Sodium).<br>Dosage de l'ion Iode. .... | 56    |
| CHAPITRE VI. — Modifications de la peau par le passage<br>de l'ion iode.....              | 72    |
| CHAPITRE VII. — Elimination de l'iode introduite électro-<br>lytiquement, .....           | 80    |
| CHAPITRE VIII. — Vitesses absolues de l'ion Iode.....                                     | 92    |
| CHAPITRE IX. — Observations.....                                                          | 97    |
| CONCLUSIONS.....                                                                          | 114   |
| BIBLIOGRAPHIE.....                                                                        | 116   |



